

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MARCO PARA VENTANA EN GUADUA
ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

CRISTIAN MANUEL CARO OTALORA
NICOLLE DAYANA SANCHEZ MATEUS

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTA DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
MODALIDAD PRESENCIAL
BOGOTA D.C.
2021

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MARCO PARA VENTANA EN
GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PARA VIVIENDAS DE INTERÉS
SOCIAL

CRISTIAN MANUEL CARO OTALORA
NICOLLE DAYANA SANCHEZ MATEUS

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:
CARLOS JULIO CARTAGENA LINARES

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD PRESENCIAL
BOGOTÁ D.C
2021



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la [misma licencia](#) del original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 18 de mayo del 2021

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. ANTECEDENTES	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
4. OBJETIVOS	17
4.1. GENERAL	17
4.2. ESPECÍFICOS	17
5. ESTADO DEL ARTE	18
5.1. ELEMENTOS FINITOS EN MARCOS DE VENTANAS	18
5.2. TERMICIDAD EN MARCOS DE VENTANAS	19
5.3. COSTOS DE LA CARPINTERÍAS METÁLICAS VS CARPINTERÍAS ALTERNATIVAS	20
6. MARCO DE REFERENCIA	22
6.1. MARCO LEGAL	22
6.1.1. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR10	22
6.1.2. REQUISITOS GUADUA NTC-5300	23
6.1.3. REQUISITOS MÍNIMOS DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL	23
6.2. MARCO TEÓRICO	24
6.2.1. GUADUA ANGLUSOFILIA KUNTH	24
6.2.2. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	25
6.3. MARCO CONCEPTUAL	26
6.3.1. VENTANAS	26
6.3.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA	26
6.3.3. MATERIALES AISLANTES	27
7. METODOLOGÍA	29
7.1. FASE I: FACTIBILIDAD	29
7.2. FASE II: EJECUCIÓN Y EVALUACIÓN	30
7.3. FASE III: RESULTADOS	31

8. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	32
8.1. ALCANCE	32
8.2. FACTORES LIMITANTES	32
9. DESARROLLO.....	33
9.1. FASE I: FACTIBILIDAD	33
9.1.1. DETERMINACION DE MATERIALES	33
9.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE UNA VENTANA PARA VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL	34
9.1.3. DISEÑO PROTOTIPO DE MARCO.....	35
9.1.4. COMBINACIONES DE CARGA.....	53
9.1.5. PARAMETROS FUNCIONALES Y OPERACIONALES	53
9.1.6. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS ADMISIBLES MARCO VENTANA	53
9.1.7. DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION.....	56
9.1.8. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESION AXIAL	62
9.1.9. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXO COMPRESION.....	66
9.1.10. UNIONES	67
9.1.11. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL VIDRIO	68
9.1.12. SIMULACION EN SAP2000	71
9.2. FASE II: EJECUCION Y EVALUACION.....	76
9.2.1. DETERMINACION DE PROPIEDADES TERMICAS	85
9.2.2. COMPARACION DE PRESUPUESTO.....	94
9.3. FASE III: RESULTADOS	96
10. ANALISIS DE RESULTADOS.....	97
10.1. ANALISIS RESULTADOS SAP200	97
10.1.1. ANALISIS MARCO PRINCIPAL	97
10.1.2. ANALISIS HOJA BASCULANTE	100
10.3. PRESUPUESTO.....	104
11. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN.....	105
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFIA	108

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1: Método de elementos finitos	25
Ilustración 2: Aislante Térmico en una ventana	27
Ilustración 3: Diagrama de flujo FASE I	29
Ilustración 4: Diagrama de flujo FASE II	30
Ilustración 5: Utilización de Culmos de Guadua Angustifolia Kunth.....	33
Ilustración 6 Dimensionamiento Prototipo Marco de ventana	35
Ilustración 7: Resumen NSR 10.....	36
Ilustración 8: Esquema Avaluó de Cargas	37
Ilustración 9: Espectro de diseño obtenido	42
Ilustración 10: Zonas dirección transversal de SPRFV	50
Ilustración 11 Marco Basculante	57
Ilustración 12 Marco General	57
Ilustración 13 Montantes Verticales Laterales y central	64
Ilustración 14 Montantes Basculante	65
Ilustración 15: Corte Boca Pescado.....	68
Ilustración 16: Corte Pico Flauta	68
Ilustración 17: Carga No factorizada vidrio 4mm	69
Ilustración 18: Deflexión máxima para vidrio 4mm.....	70
Ilustración 19: Definición de apoyos marco principal	74
Ilustración 20: Definición de apoyos marco hoja.....	76
Ilustración 21 Referencias de Ventana	76
Ilustración 22 Plano Provisional de Fabricación.....	78
Ilustración 23: Diagrama de regiones de una ventana.....	85
Ilustración 24: Dimensiones ventana principal	86
Ilustración 25: Dimensiones ventana hoja basculante	87
Ilustración 26: Referencias de los elementos del prototipo	94
Ilustración 27: Resultados de cortante marco principal.....	97
Ilustración 28: Resultados de momento marco principal.....	99
Ilustración 29: Resultados de deflexiones marco principal	99
Ilustración 30: Resultados de cortante hoja basculante	100
Ilustración 31: Resultados de momento hoja basculante	102
Ilustración 32: Resultados de deflexiones hoja basculante.....	103

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1: Montaje de prueba experimental para marco de ventana en madera ...	18
Imagen 2: Resultado del modelo FE tensiones normales en la dirección paralela de la veta de la madera	19
Imagen 3: Simulación de resultados optimización térmica en perfiles de aluminio	20
Imagen 4: Etapas de la manufactura del aluminio	21
Imagen 5: Propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth	24
Imagen 6: Modelo de ventana en guadua.....	26
Imagen 7: Creación de Guadua en SAP2000 para la modelación marco principal	71
Imagen 8: Creación de Sección Transversal Guadua de 8cm en SAP2000.....	72
Imagen 9: Definición de tipo de cargas a utilizar.....	73
Imagen 10: Combinaciones de carga	73
Imagen 11: Creación de Guadua en SAP2000 para modelación hoja.....	74
Imagen 12: Creación de Sección Transversal Guadua de 6cm en SAP2000.....	75
Imagen 13 Localización Arme Guada & Bambú	77
Imagen 14 Almacenamiento de Guadua.....	77
Imagen 15 Ubicación Taller de Fabricación.....	79
Imagen 16 Uniones Pico flauta 45°.....	79
Imagen 17 Esquema Escuadras madera Inmunizada 200x200.....	80
Imagen 18 Unión Boca de Pescado.....	80
Imagen 19 Detalle Union Boca Pescado	81
Imagen 20 Armado Marco General.....	81
Imagen 21 Armado Marco de Basculante	82
Imagen 22 Instalacion de Pisa Vidrio.....	82
Imagen 23 Instalacion Pivote Superior e Inferior	83
Imagen 24 Ubicacion Districristales JL	83
Imagen 25 Instalacion vidrio Fijo y Vidrio de la Hoja.....	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Parámetros para FE Model mediante el software SAP14.2	18
Tabla 2: Valores de termicidad para marcos con vidrios de 24 a 42mm.....	20
Tabla 3: Características físicas y mecánicas convencionales de productos de base vítrea.....	22
Tabla 4: Especificaciones mínimas para ventanas en viviendas de interés social	23
Tabla 5: Características de los materiales aislantes	27
Tabla 6 Dimensiones Mínimas de Ventana	34
Tabla 7: Valor de A_a y A_v para las ciudades capitales	38
Tabla 8: Coeficientes de ampliación	38
Tabla 9: Valores de coeficiente de importancia	39
Tabla 10: Grado de desempeño mínimo requerido.....	44
Tabla 11: Coeficiente de amplificación dinámica a_p , y tipo de anclajes o amarres requeridos, usados para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , para elementos arquitectónicos y acabados	45
Tabla 12: Masa total de la ventana	46
Tabla 13: Coeficientes de Exposición para la Presión Dinámica, K_h y K_z	48
Tabla 14: Factor de Direccionalidad del viento K_d	49
Tabla 15: Velocidad del viento	49
Tabla 16: Coeficiente de presión Externa $G_{c_{pf}}$	51
Tabla 17: Coeficiente de presión en Muros $G_{C_{pi}}$	52
Tabla 18: Esfuerzos Admisibles Guadua	54
Tabla 19 Duración de Carga	54
Tabla 20 Contenido Humedad	55
Tabla 21 Coeficiente Temperatura.....	55
Tabla 22 Resumen de esfuerzos Admisibles	56
Tabla 23 Deflexiones Admisibles	56
Tabla 24 Factor Corrección Cortante.....	58
Tabla 25 Coeficientes Longitud Efectiva.....	62
Tabla 26 Clasificación Columnas.....	65
Tabla 27 Factor Tipo de Vidrio.....	70
Tabla 28: Carga producida por la hoja.....	72
Tabla 29: Carga producida por el vidrio principal.....	72
Tabla 30: Carga producida por el vidrio en la hoja.....	75
Tabla 31 Optimización de Material.....	77
Tabla 32: Coeficientes de transferencia de calor U	88
Tabla 33: Factor de diferencia de temperatura CLDT	90
Tabla 34: Coeficiente SC	92
Tabla 35: Factor SHGF.....	92

Tabla 36: Factor CL	93
Tabla 37: Elementos usados	95
Tabla 38: Presupuesto Ventana de Guadua	95
Tabla 39: Presupuesto Ventana de Aluminio	95

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Relación Ventana/Pared	23
Ecuación 2: Periodo de vibración inicial en la zona de aceleraciones constantes	39
Ecuación 3: Periodo de vibración inicial en la zona de aceleraciones constantes obtenido	40
Ecuación 4: Periodo de vibración en la zona de transición	40
Ecuación 5: Periodo de vibración en la zona de transición obtenido	41
Ecuación 6: Periodo de vibración en la zona de desplazamiento aproximadamente constante	41
Ecuación 7: Periodo de vibración en la zona de desplazamiento aproximadamente constante obtenido.....	41
Ecuación 8: Valor del espectro de aceleraciones máximo	42
Ecuación 9: Valor del espectro de aceleraciones máximo	42
Ecuación 10: Fuerzas sísmicas de diseño	43
Ecuación 11: Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural	43
Ecuación 12: Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural obtenido ...	44
Ecuación 13: Fuerzas sísmicas de diseño obtenido	46
Ecuación 14: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño	46
Ecuación 15: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño obtenidas	47
Ecuación 16: Presión de viento de diseño	47
Ecuación 17: Presión por velocidad.....	47
Ecuación 18: Presión por velocidad obtenida	50
Ecuación 19: Cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado	51
Ecuación 20: Áreas del edificio de diseño	51
Ecuación 21: Verificación de cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado	52
Ecuación 22: Verificación final de cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado	52
Ecuación 23: Presión de viento de diseño	53
Ecuación 24 Deflexión máxima Basculante	57
Ecuación 25 Deflexión Máxima Marco.....	57
Ecuación 26 Verificación de parámetros hoja basculante.....	58
Ecuación 27 Modulo de elasticidad Corregido	58
Ecuación 28 Modulo de elasticidad Corregido final	58
Ecuación 29 Verificación de parámetros hoja basculante.....	59
Ecuación 30: Esfuerzo a flexión actuante	59
Ecuación 31: Modulo Sección.....	59
Ecuación 32: Esfuerzo a flexión actuante culmos 60mm.....	60
Ecuación 33: Esfuerzo a flexión actuante culmos 60mm.....	60
Ecuación 34: Cortante Paralelo a la fibra.....	60

Ecuación 35: Cortante Paralelo a la fibra culmos 60mm	61
Ecuación 36: Cortante Paralelo a la fibra culmos 60mm	61
Ecuación 37: Aplastamiento	61
Ecuación 38: Aplastamiento culmos 60mm	62
Ecuación 39: Aplastamiento culmos 60mm	62
Ecuación 40: Longitud Efectiva.....	62
Ecuación 41: Esbeltez	63
Ecuación 42: Radio de giro	63
Ecuación 43: Radio de giro culmos 60mm.....	63
Ecuación 44: Radio de giro culmos 60mm.....	64
Ecuación 45: Esbeltez montantes laterales	64
Ecuación 46: Esbeltez montante central.....	64
Ecuación 47: Esbeltez montantes laterales hoja basculante	65
Ecuación 48 Esfuerzos Máximos columnas cortas	66
Ecuación 49 Esfuerzos Máximos columnas cortas montantes 80mm	66
Ecuación 50 Esfuerzos Máximos columnas cortas montantes 60mm	66
Ecuación 51 Flexo Compresión	66
Ecuación 52 Coeficiente de magnificación de momentos	67
Ecuación 53 Carga critica de Euler.....	67
Ecuación 54: Ecuación de diseño estructural del vidrio	69
Ecuación 55: Factor global de transferencia de Calor	85
Ecuación 56: Área del marco principal.....	86
Ecuación 57: Área del centro del cristal principal.....	87
Ecuación 58: Área del borde del cristal principal	87
Ecuación 59: Área total de la ventana principal	87
Ecuación 60: Área del marco hoja basculante	88
Ecuación 61: Área del centro del cristal hoja basculante	88
Ecuación 62: Área del borde del cristal hoja basculante.....	88
Ecuación 63: Área del centro del cristal hoja basculante	88
Ecuación 64: Factor global de transferencia de Calor ventana principal	89
Ecuación 65: Factor global de transferencia de Calor hoja basculante	89
Ecuación 66: Cargas por conducción	89
Ecuación 67: Factor CLDT _c	90
Ecuación 67: Factor CLDT _c obtenido.....	90
Ecuación 69: Cargas por conducción ventana principal	91
Ecuación 69: Cargas por conducción ventana hoja basculante.....	91
Ecuación 71: Cargas por Radiación.....	91
Ecuación 72: Cargas por Radiación ventana principal.....	93
Ecuación 73: Cargas por Radiación ventana hoja basculante	93
Ecuación 73: Cargas térmica ventana principal	94
Ecuación 73: Cargas térmica ventana hoja basculante	94

Ecuación 76: Evaluación de cortante paralelo a las fibras marco principal.....	97
Ecuación 77: Evaluación de diseño a compresión perpendicular a las fibras marco principal	98
Ecuación 78: Evaluación de aplastamiento marco principal	98
Ecuación 78: Evaluación de flexion marco principal	99
Ecuación 80: Evaluación de cortante paralelo a la fibra hoja basculante	101
Ecuación 81: Evaluación de compresión perpendicular a la fibra hoja basculante	101
Ecuación 82: Evaluación de aplastamiento hoja basculante	101
Ecuación 83: Evaluación de flexión hoja basculante	102

INTRODUCCIÓN

La construcción de proyectos de vivienda de interés social en Colombia carece de avance tecnológico el cual permita la construcción de estas viviendas en forma masiva y a bajo costo, un factor del alto costo de las viviendas VIS es el presupuesto designado para las carpinterías metálicas el cual está entre el 7% y 8% aproximadamente debido al precio de los materiales necesarios para ello como los metales de baja aleación utilizados en los marcos de las ventanas.

En este documento se encontrará el diseño mediante el método de elementos finitos por medio de una simulación en SAP2000 y fabricación de un prototipo de marco de ventana en Guadua Angustifolia Kunth siguiendo todos los parámetros establecidos por la normatividad colombiana teniendo en cuenta que este prototipo debe ser capaz de resistir agresiones ambientales generadas por la precipitación efectos sísmicos, las cargas producidas por el viento y su peso propio.

Siguiendo los parámetros establecidos para los marcos en guadua de las normas colombianas se obtuvo que el prototipo objeto de este informe tiene unas excelentes características de resistencia tanto a flexión como a compresión por las especificaciones físico mecánicas que tiene la guadua, además de ser una excelente alternativa económica siendo significativamente más económica que las hechas por materiales convencionales sin nombrar los aspectos ambientales y estéticos que este le aporta a las viviendas VIS.

1. ANTECEDENTES

A nivel global se ha estudiado como las ventanas ayudan al confort térmico de las viviendas, es por ello que países como Ecuador se realizan estudios referentes al tema, como la universidad de Cuenca la cual publica en su tesis [1] Influencia de la ventana en el confort térmico, lumínico y calidad de aire de las viviendas unifamiliares de la ciudad de cuenca, donde concluye que para obtener mayor hermeticidad en las viviendas, las ventanas deben tener coeficientes de transmitancia muy pequeños para lo cual se aconseja el uso de marcos en PVC o madera.

En Colombia se han llevado a cabo diferentes estudios acerca del confort térmico en las viviendas de interés social en diferentes zonas del país, como en el estudio [2] acerca del comportamiento térmico en las viviendas de interés social en la zona suroccidental de la ciudad de barranquilla, donde se pudo concluir que en las viviendas tipo VIS es difícil garantizar un confort térmico debido a la alta conductividad de los materiales, la falta de planificación en la ventilación en su estructura, las ganancias de calor por infiltración, y el desprovisto control solar, debido a su escasa implementación de estrategias para la mitigación de la radiación.

Por otra parte, en el estudio [3] acerca de las aperturas de fachadas y confort en la vivienda de interés social del trópico donde indica que el calor al interior de las viviendas trae como resultado el aumento del consumo energético a causa del uso de electrodomésticos, donde se hace necesario adoptar las actuales tendencias hacia la sostenibilidad. Por medio del diseño de aperturas de fachada se generará una solución pasiva para el mejoramiento del confort térmico de las viviendas, fundamentado en la relación cultural con los objetos y el entorno, que a su vez disminuya el consumo de energía eléctrica.

A nivel económico en Colombia se evidencia altos costos en la fabricación de las ventanas, así lo revelo la revista [4] donde menciona el incremento de precios de algunos insumos para la construcción de casas y apartamentos, según el índice de costos de la construcción de vivienda (ICCV) otorgado por el DANE menciona que crecieron en un 29.3% actividades como la ventanería y las instalaciones de PVC.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente Colombia cuenta con diferentes proyectos tipo habitacional, sin embargo, en el documento [5] especifica que el país carece de avances tecnológicos constructivos que permitan la elaboración masiva de vivienda a bajo costo y con estándares de calidad espacial aceptables, ante lo cual se hace necesario nuevas maneras de abordar la Diseño de viviendas; en este documento se detalla que no existen estándares de construcción para ventanas, puertas y tampoco parámetros normativos de ventilación natural. En consecuencia, según [6], proyecta un presupuesto para la construcción de este tipo de viviendas, donde se evidencia que las carpinterías metálicas y de madera, donde se incluyen ventanas y puertas, repercuten entre el 7 a 8 % del costo total de construcción.

Aunque los sistemas de ventanas fabricados con materiales convencionales tienen una función de cierre, iluminación, evasión visual, y ventilación, en algunas ocasiones no reprime el paso de aire y agua en conjunto generando problemas muy comunes en las estructuras como la humedad por condensación; es por ello que en el libro [7] recomienda la adecuación de la temperatura interior a partir de la estanqueidad y el aislamiento térmico ya que son la base para evitar que se generen condensaciones superficiales tanto horizontales como verticales, el conjunto de los elementos de una ventana debe resistir agresiones ambientales generadas por la precipitación, efectos sísmicos, las cargas producidas por el viento y su peso propio sin sufrir deformaciones cumpliendo con la normatividad colombiana.

Es por ello que la Guadua Angustifolia Kunth resulta ser un material que garantiza un adecuado funcionamiento para el marco de una ventana no solo como estructura, sino como aislante térmico debido a sus características físicas. Según el Blog [8] resalta valores de conductividad térmica entre (50-160) W/mK para materiales convencionales (acero y aluminio), y (0.09 y 0.20) W/mK para diferente tipos de maderas utilizadas en la construcción, a su vez la guadua es un material de fácil obtención y con muy bajos costos en Colombia, el cual no afecta el medio ambiente.

El desarrollo de este trabajo resulta siendo importante para la sociedad debido a que puede generar un impacto económico en la utilización de diferentes cultivos de guadua mejorando las condiciones actuales de la población, ya que su uso no se limita solo a la estructura de edificaciones, si no que amplía el uso en diferentes etapas de la construcción. De igual forma resulta siendo importante para la ingeniería ya que ofrece una solución innovadora para viviendas de interés social disminuyendo la huella de carbón de los materiales de construcción como lo es el aluminio y el acero, a su vez generando un punto de partida que permita la investigación y el desarrollo de sistemas más sofisticados e industrializados.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El marco de las ventanas en las viviendas de interés social en la actualidad se utilizan materiales que no garantizan un buen confort térmico en especial cuando es sometida a condiciones extremas, dichos marcos por lo general se fabrican en materiales comunes y viables como el aluminio y el acero que a su vez generan elevados costos en la construcción de las viviendas.

El uso de Materiales innovadores como la Guadua Angustifolia Kunth en los marcos de una ventana puede llegar a mejorar el confort térmico debido a las propiedades térmicas que ofrece, sin alterar la funcionalidad ni la resistencia, por tal razón el mayor enfoque es el estudio de las propiedades mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth en un prototipo de marco para la ventana, para así determinar, la resistencia, la Funcionalidad y la conductividad térmica.

En función de la argumentación anterior, se espera que al desarrollar este Trabajo resolvamos la siguiente pregunta:

¿Cuál es el diseño óptimo de un prototipo de marco para ventana en guadua angustifolia kunth para viviendas de interés social?

4. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Realizar el diseño de un prototipo de marco para ventana en guadua Angustifolia Kunth para viviendas de interés social.

4.2. ESPECÍFICOS

- Definir parámetros funcionales y operacionales para la construcción de un marco de Guadua Angustifolia Kunth.
- Evaluar utilizando como método la modelación de elementos finitos la resistencia del marco de la ventana formada en guadua Angustifolia Kunth en el Software SAP2000.
- Fabricar un prototipo de marco de ventana en guadua Angustifolia Kunth de un vano tipo VIS para determinar las propiedades térmicas que pueden ofrecer este material.
- Elaborar una cartilla constructiva la cual especifique el método de fabricación y las dimensiones del marco de ventana en guadua Angustifolia Kunth para viviendas VIS.
- Comparar los costos para la fabricación del prototipo de marco para la ventana en guadua Angustifolia Kunth con los materiales utilizados actualmente en las carpinterías metálicas

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. ELEMENTOS FINITOS EN MARCOS DE VENTANAS

Diferentes artículos se han desarrollado con el fin de evaluar las resistencias de marcos en ventanas sometidos a diferentes cargas, como el estudio [9] donde ensayan un marco en madera con uniones en silicona estructural a partir de modelación de elementos finitos en el cual detallan los principales parámetros del material para el modelo elementos finitos.

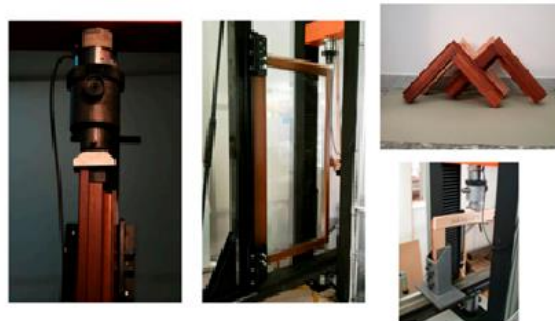
Tabla 1: Parámetros para FE Model mediante el software SAP14.2

Parameter	Value	Symbol	Note
Longitudinal modulus of wood	10,000 N/mm ²	E_{WL}	Measured
Transverse modulus of wood	3000 N/mm ²	E_{WT}	From literature [39]
Shear modulus of wood	780 N/mm ²	G_W	Measured
Young's modulus of glass	40,000 N/mm ²	E_G	From manufacturer
Shear modulus of glass	16,000 N/mm ²	G_G	From manufacturer
Young's modulus of sealant	0.9 N/mm ²	E_S	From manufacturer
Shear modulus of sealant	0.3 N/mm ²	G_S	From literature (incompressible material)
Wood density	410 kg/m ³	ρ_W	Measured
Double glazing glass density	2700 kg/m ³	ρ_G	From manufacturer
Modulus of inertia of cross-sectional area of wood bar	1,233,831 mm ⁴	J_F	Measured
Stiffness of dowel corner joint	17,016,580 Nmm/rad	M/ϕ	Measured

Fuente: Wooden window frames with structural sealants: manufacturing improvements and experimental validation of a finite element model, Antonio Pantaleoa *, Domenico Ferrib and Achille Pelleranoa 2013

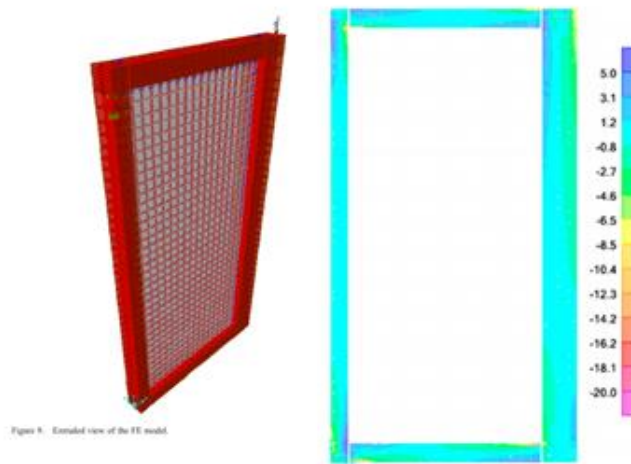
En este mismo estudio [9] realizan la modelación en SAP14.2 donde se incluyen elementos como el Marco y el vidrio modelados en elementos de caparazón Bidimensionales, donde se eligió una ley constitutiva antrópica para la madera y para el vidrio una Isotrópico utilizando los parámetros mostrados en *Tabla 1: Parámetros para FE Model mediante el software SAP14.2.*, para luego hacer la respectiva prueba experimental mostrada en la *Imagen 1: Montaje de prueba experimental para marco de ventana en madera*

Imagen 1: Montaje de prueba experimental para marco de ventana en madera



Fuente: Wooden window frames with structural sealants: manufacturing improvements and experimental validation of a finite element model, Antonio Pantaleoa *, Domenico Ferrib and Achille Pelleranoa 2013

Imagen 2: Resultado del modelo FE tensiones normales en la dirección paralela de la veta de la madera



Fuente: Wooden window frames with structural sealants: manufacturing improvements and experimental validation of a finite element model, Antonio Pantaleoa *, Domenico Ferrib and Achille Pelleranoa 2013

En este estudio [9] se pudo demostrar que es útil la unión entre madera y sellador y que esto limita la deformación en las juntas de las esquinas permitiendo un rango valido para mantener la funcionalidad del marco, estos resultados se pueden ver en *Imagen 2: Resultado del modelo FE tensiones normales en la dirección paralela de la veta de la madera.*

5.2. TERMICIDAD EN MARCOS DE VENTANAS

En las últimas décadas ha habido un interés creciente por reducir el uso de energía en los edificios. Allí hay muchos aspectos que contribuyen a la eficiencia energética general de un edificio.

Según [10] el rendimiento térmico de los marcos puede calcularse mediante simulaciones numéricas para diversas empresas es fácil realizar inversión en software comerciales, sin embargo, la optimización térmica no ha alcanzado su máximo potencial en especial para aquellas pequeñas y medianas empresas.

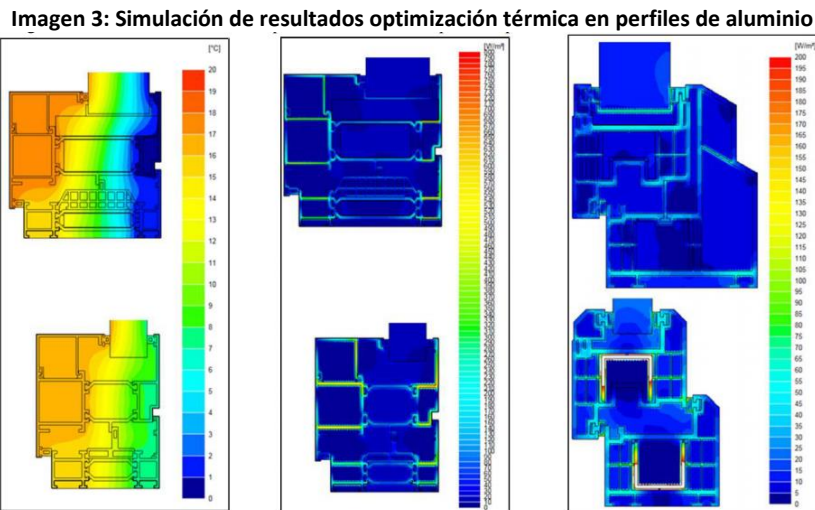
Cuando se desea realizar un análisis de los marcos de las ventanas se dispone de diferentes materiales, como aluminio, madera Y PVC, su termicidad puede variar según el tipo de vidrio como se observa en *la Tabla 2: Valores de termicidad para marcos con vidrios de 24 a 42mm.*

Tabla 2: Valores de termicidad para marcos con vidrios de 24 a 42mm

U_F -values	double glazing 24mm (W/m ² K)	triple glazing 42mm (W/m ² K)	difference (W/m ² K)	difference (%)
aluminum	2.773	2.618	0.155	5.59
wood	1.707	1.640	0.067	3.93
vinyl	1.503	1.451	0.052	3.46

Fuente: Thermal optimization of window frames, ScienceDirect Pag 1

No existen restricciones específicas en diferentes países sobre la conductividad térmica de los marcos de las ventanas. Teniendo en cuenta que imponente restricciones específicas harían imposible construir algunas configuraciones de ventana específicas, en la *Imagen 3: Simulación de resultados optimización térmica en perfiles de aluminio* se evidencia la modelación térmica en perfiles de aluminio.



Fuente: Thermal optimization of window frames, ScienceDirect Pag 1

5.3. COSTOS DE LA CARPINTERÍAS METÁLICAS VS CARPINTERÍAS ALTERNATIVAS

A medida de los años para la construcción el uso de materiales como el aluminio ha sido fuente de cada día para las carpinterías metálicas de las viviendas que según [11] generan un costo elevado en los acabados de estas sin contar la huella de carbono que deja este material, es por esto que en la construcción ha venido en la búsqueda de materiales sostenibles para la reducción del impacto ambiental y la reducción de costos.

Para [12] el proceso de, manufactura de perfiles en aluminio es altamente costoso comparado con el proceso que la guagua, debido a su proceso de fabricación que

comprende de seis etapas mostradas en la *Imagen 4: Etapas de la manufactura del aluminio*. La extracción de la bauxita, la refinación de este mineral, la reducción del aluminio, la semi - fabricación y por último la fabricación de manufactura o en este caso los perfiles de aluminio para el marco de las ventanas.

Imagen 4: Etapas de la manufactura del aluminio



Fuente: [13] Segarra Iñiguez Jorge Pablo, Universidad Pontificia de Cataluña, Impacto Ambiental y viabilidad de la producción de las carpinterías de ventana en México. Pag 30.

Por el contrario, el proceso de manufactura de la guadua según [14] consta de tres etapas, la plantación del material, la cosecha de la guadua hecha, y el proceso de inmunización de esta, sin contar que es una materia poco explotada a nivel mundial con altas posibilidades de generación de empleo además de sus grandes características.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO LEGAL.

6.1.1. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR10

La normatividad que aplica para el diseño del marco se tendrá en cuenta los siguientes capítulos de la norma:

- Titulo K- Requisitos Complementarios

Este capítulo nos especifica las características mínimas para materiales utilizados en marco como se observa en la *Tabla 3: Características físicas y mecánicas convencionales de productos de base vítrea*.

Tabla 3: Características físicas y mecánicas convencionales de productos de base vítrea

Característica	Símbolo	Valor numérico y unidad
Densidad (a 18 °C)	ρ	2500 kg/m ³
Dureza		6 unidades (escala de Mohs)
Módulo de Young (módulo de elasticidad)	E	7×10^{10} Pa
Índice de Poisson	μ	0.2
Calor específico	c	0.72×10^3 J/(kg*K)
Coefficiente medio de dilatación lineal entre 20 °C y 300 °C	α	9×10^{-6} K ⁻¹
Conductividad térmica	λ	1 W/(m*K)
Índice de refracción medio en el espectro visible (380 nm a 780 nm)	n	1.5

Fuente: Titulo K de la Norma Sismo Resistente NSR-10

De igual forma nos especifica el espesor mínimo del vidrio que va en relación de largo/ ancho de la ventana.

- Titulo B-Cargas

Nos especifica que la ventana en conjunto se debe diseñar principalmente para resistir las siguientes Cargas:

- ✓ Cargas de Viento
- ✓ Efectos Sísmicos
- ✓ Cargas muertas

También este título nos especifica las combinaciones de carga a utilizar para el diseño del marco de ventana

- Titulo G-Estructuras en Guadua

El titulo K nos indica que los marcos de las carpinterías se deben diseñar mediante el título que este especificado el material en este caso el marco será de Guadua por

lo que para esto se utilizará los especificaciones dadas por [15], el cual nos indica:

- ✓ Especificaciones de la Guadua
- ✓ Esfuerzos Máximos
- ✓ Propiedades para el diseño como peso específico y módulo de elasticidad

6.1.2. REQUISITOS GUADUA NTC-5300

La norma NTC-5300 nos especifica el tiempo y la manera de la cosecha a la cual debe estar sometida la guadua para su optima utilización.

6.1.3. REQUISITOS MÍNIMOS DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Para la elaboración del diseño de prototipo de ventana se toma como referencia el manual de especificaciones técnicas de construcción de viviendas de interés social (VIS) la cual define la colocación de ventanas y los tipos de materiales que se puede realizar, estos se muestran en la *Tabla 4: Especificaciones mínimas para ventanas en viviendas de interés social*.

Tabla 4: Especificaciones mínimas para ventanas en viviendas de interés social

Capítulo	Actividad	Definición de la actividad	Materiales	Normas	Responsabilidades
PREACABADOS	Colocación de ventanas	La ventana es el conjunto de elementos que permite regular el cierre de un vano no transitable. Cumple funciones de iluminación, ventilación, y seguridad impidiendo el paso de personas, animales y elementos extraños como polvo, basura, agua, vientos fuertes, ruido, etc.	Concreto, madera, lámina de hierro, perfiles de aluminio, perfiles de hierro, plástico, vidrio y acrílico.		Son responsables El proyectista, el instalador, el residente y el interventor
			Empaques de neopreno, tornillos de acero, mortero, madera y clavos		
			Impermeabilizante para juntas		
			Inmunizantes para madera		

Fuente: 5.1 Manual de Especificaciones técnicas de Construcción pag 37
(http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_3.pdf)

De igual forma nos define el área mínima de los vanos según la proporción (RVP) la cual no debe exceder el 40% de área total del muro y la fórmula para calcularla es la siguiente,

Ecuación 1: Relación Ventana/Pared

$$\%RVP = \frac{\text{Area de Vidriado}}{\text{Area bruta de la Pared Exterior}} \times 100$$

$$\%RVP < 40\%$$

Fuente: 5.1 Manual de Especificaciones técnicas de Construcción pag 37

Donde RVP es la relación ventana / pared.

A su vez nos menciona la altura mínima entre pisos la cual no debe ser menor a 2.30 m en climas cálidos y 2.20 en climas fríos y templados, también nos indica que la iluminación natural debe estar presente en todas las habitaciones, sala comedor y cocina.

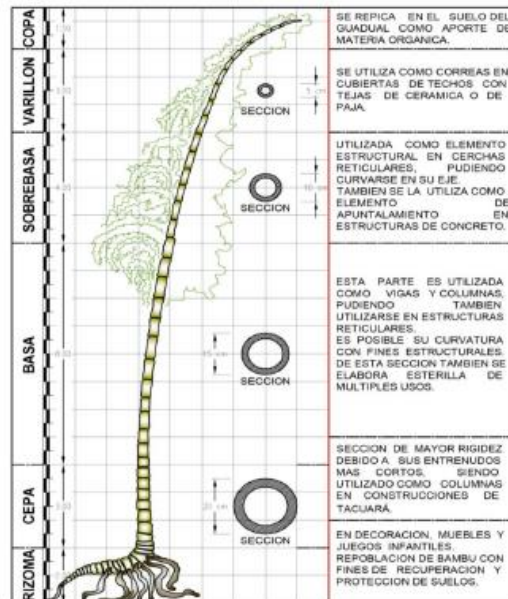
Es importante resaltar que según [16] la vivienda como mínimo debe contar con una sala comedor, 3 alcobas, cocina y baño y menciona que las dimensiones de los lados medidas entre muros de las alcobas tendrá como mínimo 2.7 m. Estas especificaciones técnicas [16] nos mencionan que los vidrios como mínimo deben ser de 3mm y que se debe garantizar su durabilidad seguridad y que los oferentes pueden presentar alternativas de ventanas que garanticen la ventilación optima en las viviendas

6.2. MARCO TEÓRICO

6.2.1. GUADUA ANGLUSOFILIA KUNTH

La guadua es un elemento no uniforme que va cambiando sus características como crecimiento Altura, diámetro, espesor entre otras, debido a ello para realizar una investigación es necesario conocer factores como el estado de madurez el contenido de humedad ya que esto permite definir de forma clara las propiedades mecánicas especificadas en *Imagen 5: Propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth*.

Imagen 5: Propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth



Fuente: [17] Tecnologías del Bambú Pag 72 Roberto Carlos Gómez Castro

6.2.2. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El método de Elementos Finitos según [18] surgió en la década de los 60, sin embargo su forma más conceptual es a partir del cálculo Integral y diferencial propuesta por Isaac Newton la cual se muestra en la *Ilustración 1: Método de elementos finitos*, es por ello que es una herramienta de alto nivel académico como industrial.

Ilustración 1: Método de elementos finitos



Fuente: [19] <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/330/1/CD-0756.pdf> -Pag 87

Una característica de este método es que se perciben las estructuras como procedimientos para llegar a una solución, es decir como un ensamble de diferentes elementos de tamaño finito y el comportamiento de estas se obtiene formulando un sistema de ecuaciones que son fácilmente resueltas por un computador.

Por lo general el método de elementos finitos se utiliza para elementos con geometrías completas y con determinación de materiales y cargas complejas, estos análisis permiten percibir como reaccionaran los diferentes elementos a vectores de fuerza, calor, vibración entre otros.

El procedimiento para el análisis de métodos Finitos se divide en 3 Pasos:

- Definición del Modelo
- Solución
- Post Proceso.

Definición del Modelo:

En este se obtiene el dominio geométrico, los tipos de elementos, las propiedades de los materiales, las propiedades geométricas, la caracterización de las conexiones, restricciones del modelo y la definición de cargas.

Solución:

El software analiza los elementos finitos del modelo y lo ensambla las ecuaciones algebraicas que se dieron en el problema, con el fin de organizar en forma de matriz, estos valores son utilizados como variables derivadas como fuerzas, reacciones esfuerzo entre otros.

Post Proceso:

En esta etapa se analiza los resultados obtenidos, el cual contiene ciclos de cálculo, en él se clasifican de acuerdo al esfuerzo de cada elemento, a su vez se verifica el equilibrio donde se calculan factores de seguridad y se visualizan el comportamiento del modelo en Imágenes dinámicas.

6.3. MARCO CONCEPTUAL.

6.3.1. VENTANAS

Son elementos arquitectónicos localizados en vanos o huecos como en la *Imagen 6: Modelo de ventana en guadua*, que pueden llegar a tener algún tipo de apertura su finalidad principal es propiciar luz y ventilación en las viviendas.

Imagen 6: Modelo de ventana en guadua



Fuente: [20] Sistema de ventilación en Guadua Zuarq <https://www.zuarq.co/puertas-ventanas-guadua/>

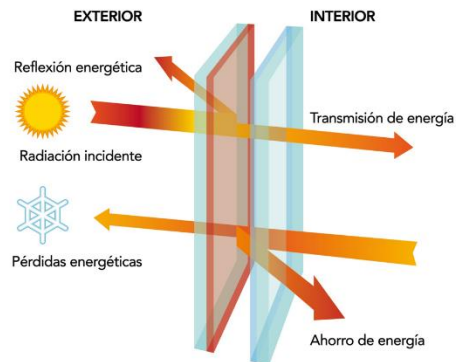
6.3.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA

El elevado consumo energético en casa y edificios se debe a aspectos estructurales tales como los cerramientos, ya que son estos lo que permiten el aislamiento de cargas térmicas, que a su vez permiten ahorrar energía utilizada ya sea para la calefacción o el aire acondicionado.

Un Adecuado Aislamiento como se evidencia en la *Ilustración 2: Aislante Térmico en una ventana* permite un confort de la zona y el riesgo de condensación que puede causar daños a los materiales del edificio e incluso evitar cambios repentinos de temperatura que generen grietas, además de permitir una mejora acústica en el entorno.

La Calidad del aislamiento según [21] se mide a partir de la transmitancia (U) que representa la facilidad de la corteza del edificio de transferir energía por unidad de superficie. Estos valores están regulados por las normas de edificación de cada país, por lo que en algunos países europeos como España el coeficiente esta entre 0.74 y 1.22 W/m2 para muros de fachada.

Ilustración 2: Aislante Térmico en una ventana



Fuente. [22] <http://diansa.com/blog/2018/08/23/buen-aislamiento-termico/> 23 Agosto del 2018

6.3.3. MATERIALES AISLANTES

Los materiales aislantes están formados por una estructura porosa gas-sólido. El gas contenido en el sólido es el responsable de conceder a la materia, propiedades aislantes mucho mayores que el sólido continuo. Un buen aislante se caracteriza por tener baja conductividad térmica (0.03-0.05W/m°C), baja capacidad de absorber agua y densidad baja. Las características principales de los materiales aislantes se muestran en la *Tabla 5: Características de los materiales aislantes*.

Tabla 5: Características de los materiales aislantes

Material	Estructura	Máxima temperatura admisible (°C)	Peso específico aproximado (kg/m³)	Conductividad térmica media	Resistencia a		
					Inflamabilidad	Absorción	D. mecánico
Vidrio celular	Celular	427	128-160	0,044	B	E	B
Vermiculita	Granular	1100	48-152	0,035	B	M	M
Lana de vidrio	Fibrosa	482-538	96-144	0,03-0,04	B	M	R
PVC	Celular	65	64-112	0,034	E	I	B
Poliuretano	Celular	149	32-48	0,023-0,04	M	B	B
Poliestireno expandido	Celular	76-79	16-32	0,033-0,057	R-B	M	R
Corcho secado	Celular	65	112-192	0,037-0,04	R-B	R	B
Espuma polietileno	Celular	10-85	30	0,038	M	B	B
Lana de roca	Fibrosa	649-815	16-160	0,038-0,042	M	N	M

Fuente. Tabla 4.1 Aranda et al, 2006

Los puentes térmicos son aquellos elementos constructivos, que permiten un rompimiento y asilamiento de un cerramiento pueden ser pernos, tuberías, forjados, vigas, cajas de persianas, puertas y ventanas, la mala realización puede generar una pérdida de un 20% de la energía de un edificio.

Uno de los factores más críticos son el aislamiento en ventanas y superficies acristaladas, ya que son partes débiles en la envolvente de un edificio, por lo tanto, es necesario maximizar la parte acristalada en las caras del edificio para aumentar las ganancias térmicas y reducir las pérdidas.

Una solución práctica según [21] es el doble acristalamiento que tiene una resistencia térmica de hasta un 55% mejor que un vidrio normal. Estos dobles acristalamientos contienen una cámara de gas que permite el paso de radiación de longitudes de onda específica, por ellos es preferible optar por materiales aislantes tales como la madera, guadua o marcos con rotura de puente térmico que reducen la transmitancia del marco en un porcentaje del 60%.

En el aluminio se evita que la cámara interior y exterior no tengan contacto entre si generando un mal conductor reduciendo las pérdidas, esto se llama Poliamida reforzada que permite el ahorro energético.

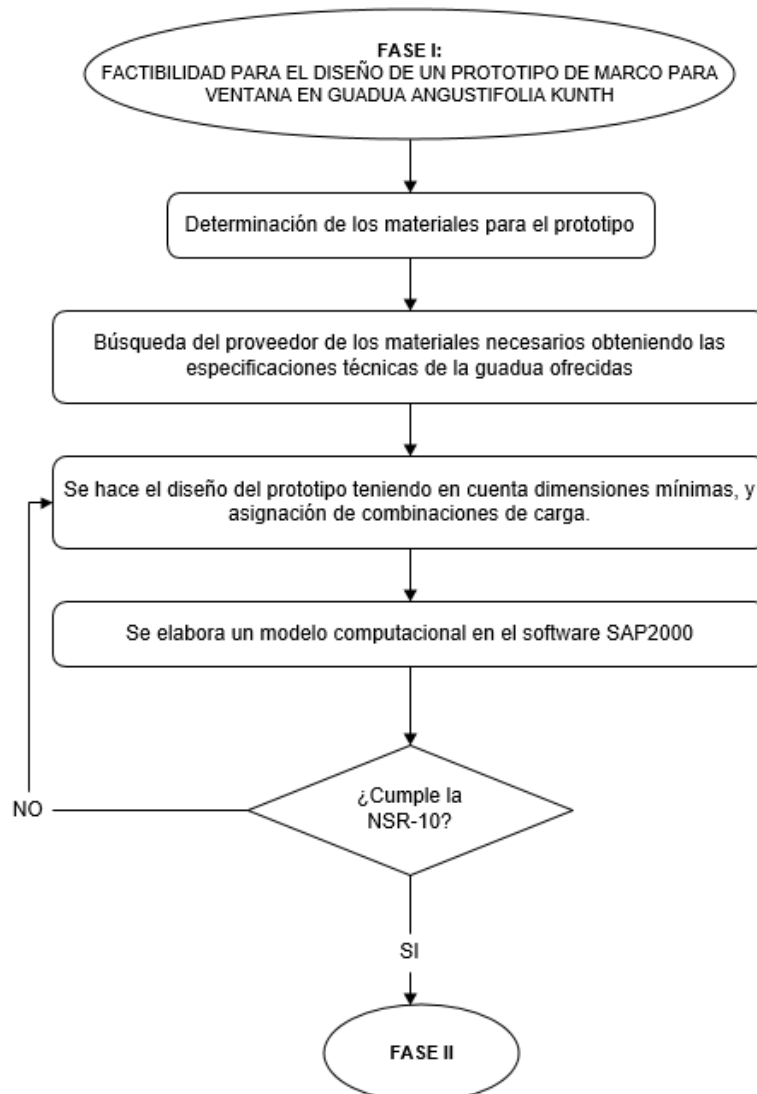
Adicionalmente las funciones aislantes de los acristalamientos deben permitir el paso de la mayor cantidad de luz posible, para así obtener ahorros energéticos en la iluminación, por otro lado, el acristalamiento es el factor más importante para el ahorro de energía ya que pueden generar ganancias solares cuando se dispone de un 60% de acristalamiento en las fachadas

7. METODOLOGÍA

Este proyecto de investigación se basa en la construcción y evaluación de un prototipo de marco para ventana en guadua *Anglusofilia Kunth*; para el cumplimiento del alcance de este proyecto se pretende abordar en tres fases: Factibilidad, Ejecución y Evaluación; y por último Resultados las cuales se describen a continuación:

7.1. FASE I: FACTIBILIDAD

Ilustración 3: Diagrama de flujo FASE I



Fuente. Propia

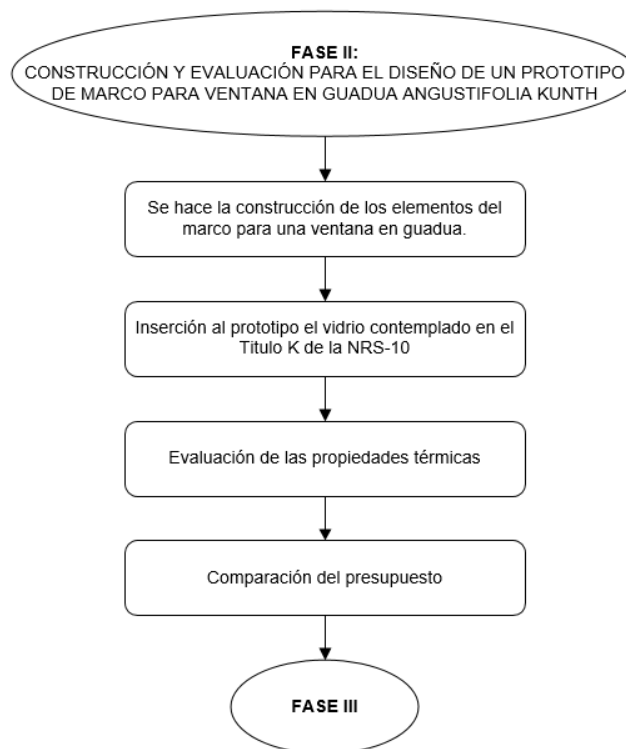
En esta primera fase mostrada en la *Ilustración 3: Diagrama de flujo FASE I*, se pretende evaluar los elementos principales para el diseño del marco ya antes mencionado como lo son los parámetros funcionales y operacionales de la guadua a utilizar, teniendo en cuenta las especificaciones de la certificación de la guadua ofrecida por el proveedor y que esta cumpla con la normatividad colombiana (NSR-10).

Al tener las especificaciones técnicas de la guadua las cuales cumplan con la norma NTC5300, se realizará un diseño inicial con las dimensiones establecidas para viviendas de interés social (VIS) en las guías de asistencia técnica para vivienda de interés social, establecidas por el ministerio nacional de vivienda y [23].

Teniendo en cuenta las dimensiones, cargas de viento y combinaciones para elementos verticales establecidos por [23], se elabora un modelo computacional en el programa SAP200 el cual mediante elementos finitos evalúa la resistencia del marco de guadua, si esta resistencia cumple con los parámetros de la NSR-10 se hace paso a la segunda fase del proyecto.

7.2. FASE II: EJECUCIÓN Y EVALUACIÓN

Ilustración 4: Diagrama de flujo FASE II



Fuente. Propia

Para la segunda fase del proyecto mostrada en la *Ilustración 4: Diagrama de flujo FASE II* se pretende realizar el proceso constructivo de los elementos del prototipo de marco de ventana según el diseño de la FASE I, haciendo la inserción del vidrio con las propiedades especificadas en [23], así hacer la evaluación de las propiedades térmicas que ofrece la ventana en conjunto comparándola con lo ofrecido actualmente.

Terminado el proceso constructivo se tiene definido el presupuesto utilizado para la construcción de este prototipo y así hacer la comparación con los presupuestos actuales de la carpintería metálica para viviendas en interés social determinando si este prototipo ofrece una disminución significativa de este proceso llegando así a la reducción del costo total de una vivienda VIS dando así el paso a la FASE III del proyecto.

7.3. FASE III: RESULTADOS

Esta es la fase final del proyecto depende del resultado obtenido en las dos anteriores fases ya que si estas se culminan satisfactoriamente se hace la elaboración de una cartilla donde especifique el proceso constructivo, especificaciones de los materiales y dimensiones del prototipo del marco para una ventana en guadua Anglufolia Kunth.

8. ALCANCE Y LIMITACIONES

8.1. ALCANCE

Tiempo: El presente proyecto se ejecutará en un periodo de Siete (7) semanas comprendidas desde el 01/03/2021 a 18/05/2021, conforme lineamientos establecido por la Universidad católica de Colombia y el director de proyecto.

Contenido: El proyecto se desarrollará mediante un plan de trabajo enfocado en las exigencias requeridas para las ventanas que se describen en el documento.

- ✓ Identificación de las características y dimensiones de los Vanos más comunes en viviendas de interés Social.
- ✓ Cálculo de la estructura en guadua para la Ventana según las cargas de viento y las especificaciones del manual de construcción de viviendas de interés social.
- ✓ Análisis de elementos finitos de las uniones de los marcos de la ventana con el fin de definir el tipo de conexión y los cortes pertinentes sobre los culmos de Guadua.

Acompañamiento: El proyecto está diseñado bajo una metodología Virtual donde se realizará un acompañamiento las aulas Virtuales, con el fin de realizar actividades enfocadas a los objetivos planteados.

Alcance: El proyecto busca Generar un prototipo de ventana en Guadua, basados en la información Suministrada por la cartilla Técnica de construcción de viviendas de interés social y la NSR10. Cumpliendo a cabalidad el plan de trabajo que incluye formación teórica, Memorias de Cálculos y la Modelación de Elementos Finitos de la estructura de la Ventana.

8.2. FACTORES LIMITANTES

- Tiempo en el cual se desarrollarán todas las temáticas del plan de trabajo, para cumplir con el objetivo principal.
- Herramientas tecnológicas como computadores o software para cumplir con las temáticas virtuales.
- La evaluación experimental de las propiedades térmicas de la muestra ya que requiere la instalación de este prototipo en un lugar por un tiempo determinado para tener valores acertado y poder hacer la comparación con los valores teóricos, por lo que este proyecto solo evaluara las propiedades térmicas teóricas ofrecidas por el marco.

9. DESARROLLO

9.1. FASE I: FACTIBILIDAD

9.1.1. DETERMINACION DE MATERIALES

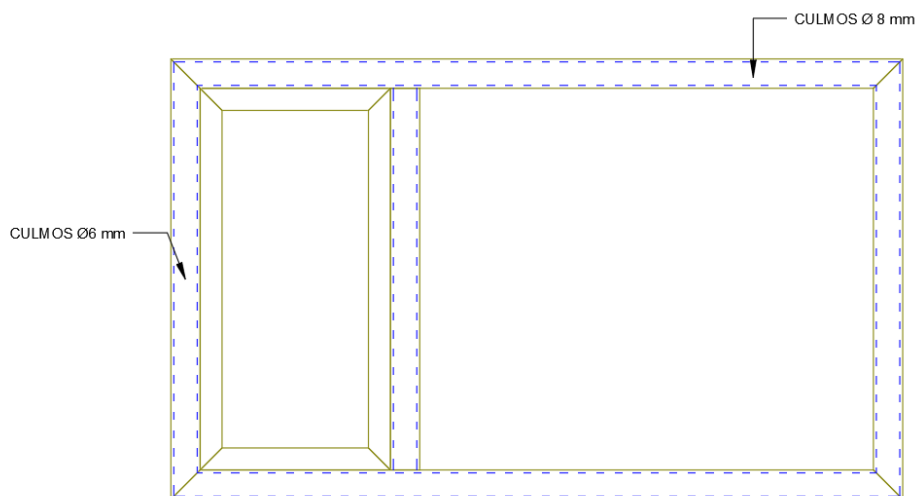
9.1.1.1. Guadua Angustifolia Kunth

Según [15] la Guadua para la construcción se puede complementar con las normas técnicas colombianas NTC5300 y NTC5301, es por ello se buscó un proveedor que Certificara los requisitos para la cosecha y postcosecha de los culmos Guadua Angustifolia Kunth, en base a esto se decidió adquirir la Guadua de la empresa AGB “Arme Guadua & bambú” la cual Certifico las Características y los procesos como La cosecha y el Preservado. (Ver Anexo 1).

Para la determinación de diámetro necesario se utilizó los dos diámetros comerciales más pequeños mostrados en la *Ilustración 5: Utilización de Culmos de Guadua Angustifolia Kunth*, los cuales se determinaron de la siguiente manera.

- Diámetro 60 mm \pm 5 mm Utilizado en la Hoja de la Ventana
- Diámetro de 80 mm \pm 5 mm Utilizado en el Marco de la Ventana.

Ilustración 5: Utilización de Culmos de Guadua Angustifolia Kunth



Fuente. Propia

9.1.1.2. Vidrio

El vidrio se determinó a partir de [23], el cual especifica los requisitos especiales para vidrios productos vidrio y sistemas vidriados, en el trabajo no se debe diseñar el vidrio sin embargo las propiedades Térmicas de una ventana funciona en conjunto

con el vidrio y el marco es por ello que se debe estimar un vidrio comúnmente utilizado en viviendas de interés social y determinar el espesor en función de las cargas soportadas, las características básicas del vidrio pueden evidenciarse en *Tabla 3: Características físicas y mecánicas convencionales de productos de base vítrea*.

9.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE UNA VENTANA PARA VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL

Las Dimensiones de la Ventana va en función de la longitud mínima de Vano, realizando una investigación en cartillas constructivas de CAMACOL (Cámara Colombiana de la Construcción) y las especificaciones técnicas vivienda y obra de urbanismo del ministerio de vivienda, se especifica lo siguiente.

- ✓ El Muro debe tener como mínimo una Longitud exterior de 2.7m y una altura mínima de 2.3m
- ✓ Debe existir una Proporción RVP (Relación Ventana Pared) la cual se especifica en la *Ecuación 1: Relación Ventana/Pared*.

Realizando el cálculo del área del muro y aplicando la Proporción RVP se obtiene el área máxima de la ventana, de esta manera se estima unas medidas que fuesen constructivas y permitan disminuir el desperdicio de material y que a su vez cumpliera con el área máxima calculada.

Tabla 6 Dimensiones Mínimas de Ventana

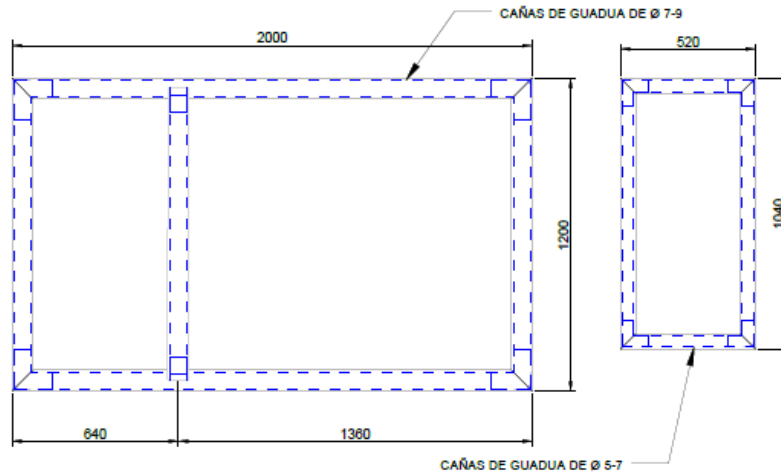
PARED	H(m)	L(m)	AREA m²
Dimensiones mínimas de muro según Ministerio de vivienda	2.3	2.7	6.21
$\%RVP = \frac{\text{Area de Vidriado}}{\text{Area bruta de la Pared Exterior}} \times 100$			
$\frac{\%RVP}{100} \times \text{Area bruta de la Pared Exterior} = \text{Area de Vidriado}$			2.484 m²
Descripción	H(m)	L(m)	m²
Area de Vidriado	1.5	1.6	
	1.3	1.8	2.34
	1.3	1.9	2.47
	1.2	2.00	2.40

Fuente. Propia

Como se Puede evidenciar en *Tabla 6 Dimensiones Mínimas de Ventana* las medidas de fabricación del Marco se estiman de 1.2m x 2.0m con área de ventana de 2.4 m², de igual forma se define una hoja de ventana de apertura exterior, ya que

debe cumplir con las funciones mínimas de una ventana que es ofrecer ventilación en el interior de las viviendas, las dimensiones de la hoja establecidas son de 0.52m x1.04m mostradas en la *Ilustración 6 Dimensionamiento Prototipo Marco de ventana*.

Ilustración 6 Dimensionamiento Prototipo Marco de ventana



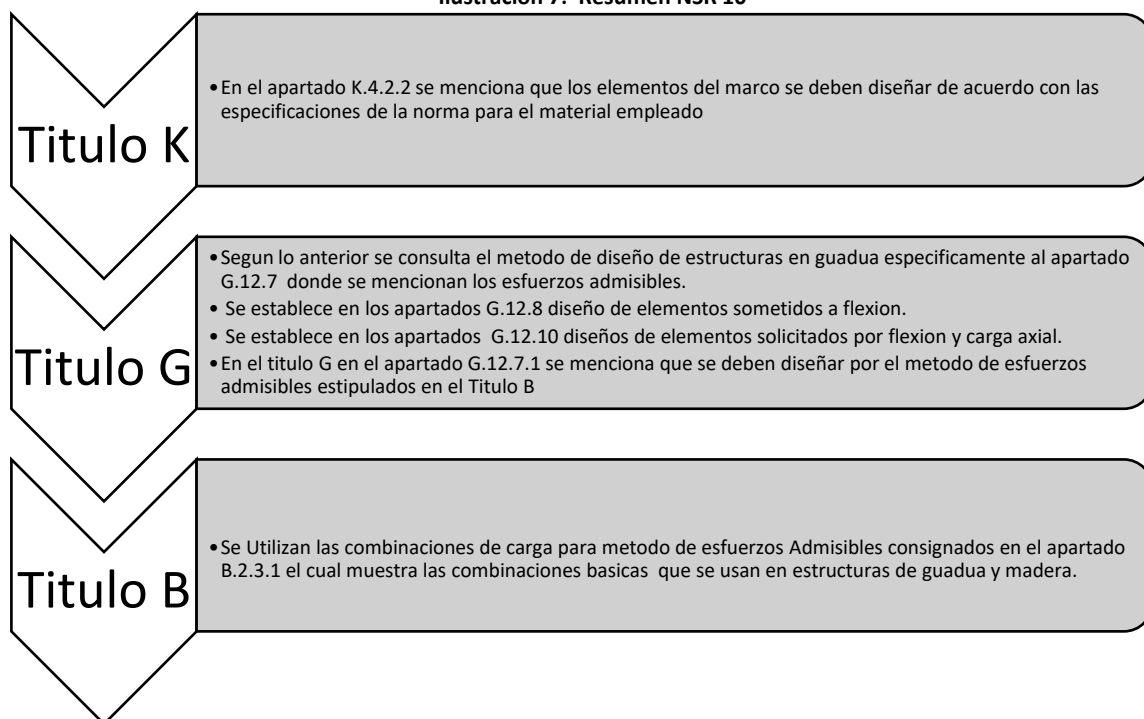
Fuente. Propia

Las dimensiones de la hoja basculante constructivamente se recomienda que el ancho de esta no sea mayor al 45% de la altura, es decir con el predimensionamiento realizado que el ancho máximo de la hoja basculante será de 0.54m, sin embargo se ha dejado 0.02 m menos con el fin de estar por debajo del ancho permitido, es decir que las dimensiones de la hoja basculante serán de 0.52m X 1.04m como se observa en la *Ilustración 6 Dimensionamiento Prototipo Marco de ventana*.

9.1.3. DISEÑO PROTOTIPO DE MARCO

El diseño se realizó en función de lo estipulado en la Norma NSR10 específicamente en los siguientes apartados.

Ilustración 7: Resumen NSR 10



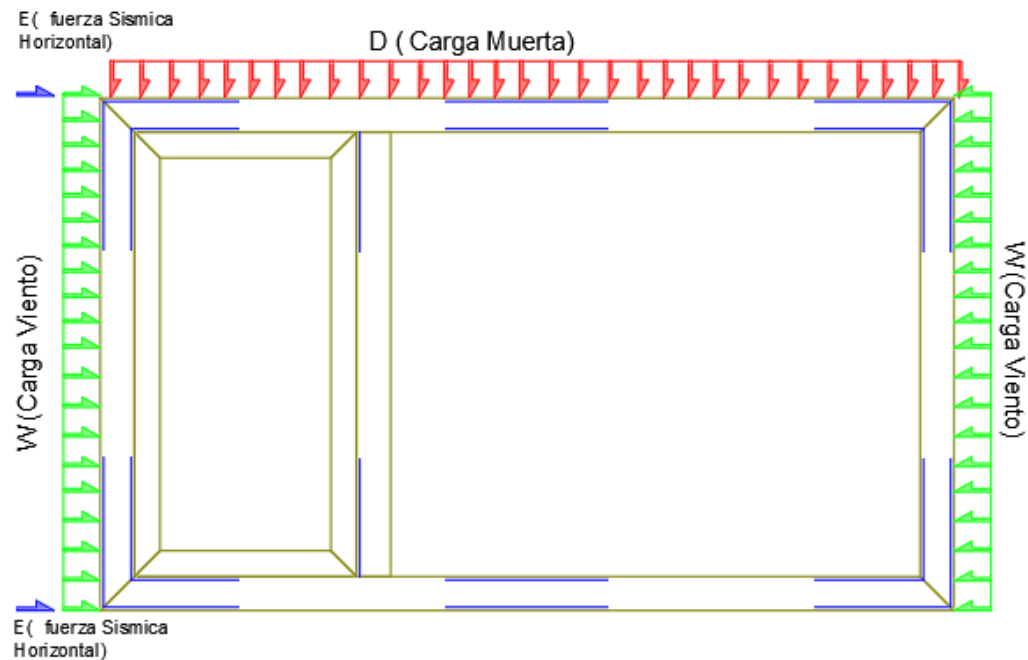
Fuente. Propia

9.1.3.1. Avalúo de carga marco de ventana

El marco de la ventana se diseña para una vivienda de interés Social con máximo 6 metros de altura ya que es lo más común para viviendas VIS de dos pisos, como se sabe las ventanas son elementos no estructurales es decir que su falla no tiene ninguna afectación sobre la estructura de la vivienda, sin embargo, si se debe realizar un diseño apropiado ya que son indispensables para la seguridad en las viviendas, teniendo en cuenta lo anterior se realizó el diseño del marco de la ventana en función de las cargas mostradas en la *Ilustración 8: Esquema Avalúo de Cargas*.

- Carga muerta (D): Esta en función del peso propio del marco más el peso del vidrio y se calculó como una carga distribuida.
- Carga de Viento (W): En función de la localización (Bogotá D.C) se calculó como una carga distribuida.
- Fuerza sísmica (E): Aplica debido a que se encuentra instalada en un vano lo que implica transmisión de esfuerzos se calcula como una carga puntual horizontal en el extremo superior y en el extremo inferior.

Ilustración 8: Esquema Avalúo de Cargas



Fuente. Propia

- **Carga Sísmica Horizontal (E)**

El prototipo objeto de diseño en este proyecto se diseñará para una vivienda VIS de dos pisos (Aproximadamente de 6 metros de altura), en la ciudad de Bogotá.

Definición de zonas de amenaza sísmica y sismo de diseño

Para el cálculo de la fuerza sísmica ejercido en el marco objeto de este diseño es necesario definir los coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva (A_a), la velocidad horizontal pico efectiva (A_v), y la zona de amenaza sísmica estos están dados por [24] y los cuales están en función de la ciudad donde se ubicara el prototipo que en este caso es Bogotá D.C.

Como se observa en la *Tabla 7: Valor de A_a y A_v para las ciudades capitales* se tomara $A_a=0.15$, $A_v=0.20$ e intermedia para la zona de amenaza sísmica, ya que son los valores definidos para la ciudad de Bogotá D.C. que como se menciona anteriormente es la ciudad de diseño para el prototipo objeto de esta investigación.

Tabla 7: Valor de A_a y A_v para las ciudades capitales

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inirida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincedejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: Tabla A.2.3-2 Capítulo A de la NSR-10

Definición de coeficiente de ampliación F_a y F_v

Para la zonificación del terreno base de diseño se tomará LACUSTRE 200 ya que esta zona es la más común en la ciudad de Bogotá; es por esto que se tomara $F_a=1.2$ y $F_v=3.50$ los cuales están definidos la *Tabla 8: Coeficientes de ampliación* establecida en [25].

Tabla 8: Coeficientes de ampliación

Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_c (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONT E A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONT E B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONT E C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Fuente: Tabla 3.1 Decreto 523 del 2010

Definición de coeficiente de importancia

Según [24] la edificación base para el diseño del marco de ventana pertenece al “Grupo I: Estructuras de ocupación normal”, por lo que el factor de importancia (I) será de 1 como se observa en la *Tabla 9: Valores de coeficiente de importancia*.

Tabla 9: Valores de coeficiente de importancia

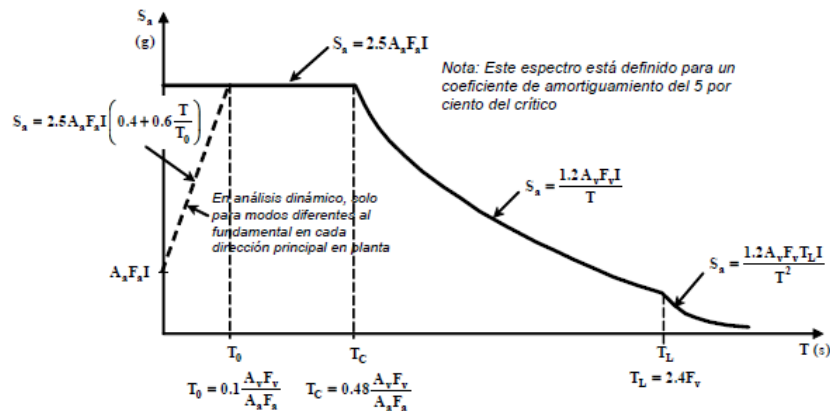
Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente: Tabla A.2.5-1 Capítulo A de la NSR-10

Espectro de diseño

Como se muestra en la *Figura 1: Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g* el espectro de aceleración está dividido en tres periodos, los cuales definen el valor de del espectro de aceleraciones de diseño (S_a).

Figura 1: Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g



Fuente: Figura A.2.6-1 Capítulo A de la NSR-10

Para el valor del periodo de vibración en la zona inicial de aceleraciones constantes (T_0) del espectro se utilizará la *Ecuación 2: Periodo de vibración inicial en la zona de aceleraciones constantes* establecida por [24].

Ecuación 2: Periodo de vibración inicial en la zona de aceleraciones constantes

$$T_0 = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

Fuente: Ecuación A.2.6-6 Capítulo A de la NSR-10

Donde:

- T_0 : Periodo de vibración inicial en la zona de aceleraciones constantes.
- A_a : Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva.
- A_v : Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva.
- F_a : Coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos del sitio.
- F_v : Coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos del sitio.

Teniendo los valores de los elementos de la ecuación nombrados anteriormente se tiene que el valor de T_0 será:

Ecuación 3: Periodo de vibración inicial en la zona de aceleraciones constantes obtenido

$$T_0 = 0.1 * \left(\frac{0.20 * 3.5}{0.15 * 1.2} \right) = 0.39 \text{seg}$$

Fuente: Propia

Para encontrar el valor del periodo de vibración en la zona de transición entre la zona de aceleración constante y la parte descendiente del mismo (T_c) se utilizara la *Ecuación 4: Periodo de vibración en la zona de transición* establecida por [24].

Ecuación 4: Periodo de vibración en la zona de transición

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

Fuente: Ecuación A.2.6-2 Capitulo A de la NSR-10

Donde:

- T_c : Periodo de vibración en la zona de transición entra la zona de aceleración constante y la parte descendiente del mismo
- A_a : Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva.
- A_v : Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva.
- F_a : Coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos del sitio.
- F_v : Coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos del sitio.

Teniendo los valores de los componentes de la ecuación se obtiene que el valor de T_c será de:

Ecuación 5: Periodo de vibración en la zona de transición obtenido

$$T_C = 0.48 * \left(\frac{0.20 * 3.5}{0.15 * 1.2} \right) = 1.87 \text{seg}$$

Fuente: Propia

El valor del periodo de vibración en el inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante (T_L) del espectro de diseño se utilizará la *Ecuación 6: Periodo de vibración en la zona de desplazamiento aproximadamente constante* establecida en [24].

Ecuación 6: Periodo de vibración en la zona de desplazamiento aproximadamente constante

$$T_L = 2.4F_v$$

Fuente: Ecuación A.2.6-4 Capítulo A de la NSR-10

Donde:

- T_L : Periodo de vibración en la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño.
- F_v : Coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos del sitio.

Con los valores de los componentes de la ecuación se obtiene que el valor de T_C será:

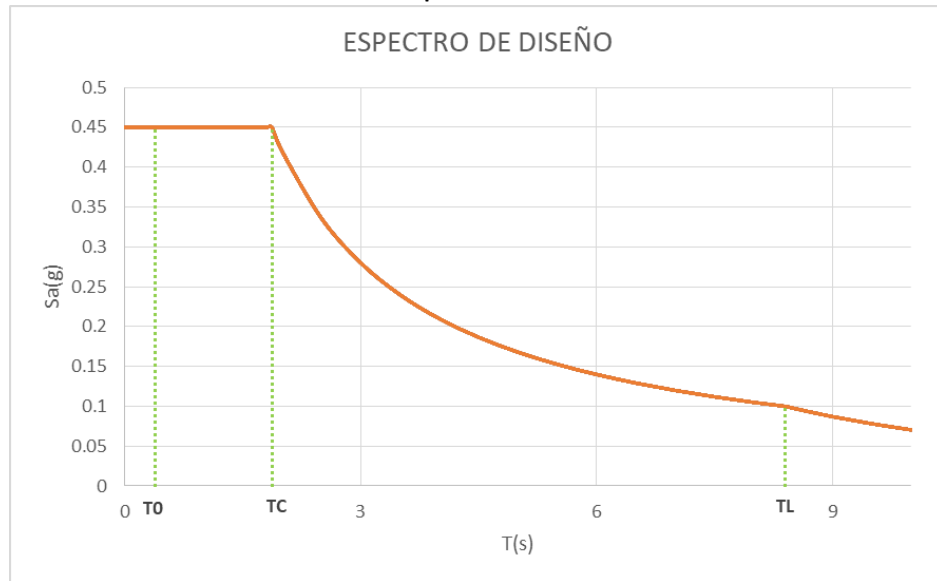
Ecuación 7: Periodo de vibración en la zona de desplazamiento aproximadamente constante obtenido

$$T_L = 2.4 * 3.5 = 8.40 \text{seg}$$

Fuente: Ecuación A.2.6-4 Capítulo A de la NSR-10

El espectro de diseño obtenido para la zona de diseño se muestra en la *Ilustración 9: Espectro de diseño obtenido* el cual especifica los periodos T_0 , T_C y T_L calculados anteriormente.

Ilustración 9: Espectro de diseño obtenido



Fuente: Propia

Como se observa en la *Ilustración 9: Espectro de diseño obtenido* el valor máximo del espectro de diseño se encuentra en la zona comprendida entre T_0 y T_C , para obtener este valor [24] establece la , esta también se puede evidenciar en la *Figura 1: Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g*.

Ecuación 8: Valor del espectro de aceleraciones máximo

$$S_a = 2.5A_aF_aI$$

Fuente: Ecuación A.2.6-3 Capítulo A de la NSR-10

Donde

- S_a : Valor máximo del espectro de diseño.
- A_a : Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva.
- F_a : Coeficiente de amplificación que afecta a la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos del sitio.
- I : Coeficiente de importancia.

Se remplace los valores en la *Ecuación 8: Valor del espectro de aceleraciones máximo* obteniendo:

Ecuación 9: Valor del espectro de aceleraciones máximo

$$S_a = 2.5 * 0.15 * 1.2 * 1 = 0.450$$

Fuente: Propia

Fuerza sísmica de diseño (F_p)

Las fuerzas sísmicas horizontales de diseño (F_p) para elementos no estructurales se deben calcular con *Ecuación 10: Fuerzas sísmicas de diseño* establecida por [24].

Ecuación 10: Fuerzas sísmicas de diseño

$$F_p = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p \geq \frac{A_a I}{2} g M_p$$

Fuente: Ecuación A.9.4-1 Capítulo A de la NSR-10

Donde:

- F_p : Fuerzas sísmicas horizontales de diseño.
- a_x : Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural.
- a_p : Coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural.
- R_p : Coeficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural y su sistema de soporte.
- g : Gravedad.
- M_p : Masa del elemento no estructural.
- A_a : Coeficiente de aceleración pico efectiva.
- I : Coeficiente de importancia.

Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural (a_x)

La altura de diseño del edificio establecida anteriormente es de 6 por lo tanto $h_{eq} = 0.75 * 6 = 4.5m$ y la altura de la ventana (h_x) definida en el diseño es de 1.2 metros por lo que se utilizara la *Ecuación 11: Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural* establecida en [24]:

Ecuación 11: Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural

$$a_x = A_s + \frac{(S_a - A_s)h_x}{h_{eq}}$$

Fuente: Ecuación A.9.4-2 Capítulo A de la NSR-10

Donde:

- a_x : Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural.
- A_s : Aceleración máxima en la superficie del suelo.
- S_a : Valor máximo del espectro de diseño.
- h_x : Altura en metros del elemento no estructural.
- h_{eq} : Altura equivalente del sistema.

Se reemplaza los valores en la *Ecuación 11: Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural* obteniendo:

Ecuación 12: Aceleración horizontal sobre el elemento no estructural obtenido

$$a_x = 0.15 + \frac{(0.45 - 0.15)1.2}{4.5} = 0.23$$

Fuente: Propia

Grado de desempeño mínimo

Teniendo en cuenta que el grupo de uso de la edificación base de diseño pertenece al grupo uno, según la sección A.9.2.3 de [24] el grado de desempeño de la edificación será “Bajo” el cual está definido por la *Tabla 10: Grado de desempeño mínimo requerido*.

Tabla 10: Grado de desempeño mínimo requerido

Grupo de Uso	Grado de desempeño
IV	Superior
III	Superior
II	Bueno
I	Bajo

Fuente: Tabla A.9.2-1 Capítulo A de la NSR-10

Coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural a_p

Según [24] el coeficiente de amplificación dinámica y el tipo de anclaje estarán definidos por la *Tabla 11: Coeficiente de amplificación dinámica a_p , y tipo de anclajes o amarres requeridos, usados para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , para elementos arquitectónicos y acabados*

se tomara $a_p=1$ y los tipos de anclaje “No dúctiles”, teniendo en cuenta que el marco objeto de este documento se puede caracterizar como un panel prefabricado apoyado arriba y abajo y el grado de desempeño es bajo mencionado anteriormente.

Tabla 11: Coeficiente de amplificación dinámica a_p , y tipo de anclajes o amarres requeridos, usados para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , para elementos arquitectónicos y acabados

Elemento no estructural	a_p	Tipo de anclajes o amarres para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , mínimo requerido en A.9.4.9		
		Grado de desempeño		
		Superior	Bueno	Bajo
Fachadas				
• paneles prefabricados apoyados arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• en vidrio apoyadas arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• lámina en yeso, con costillas de acero	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles ⁽¹⁾
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas solo abajo	2.5	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles ⁽¹⁾
• mampostería no reforzada, confinada por la estructura	1.0	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles ⁽²⁾
Muros que encierran puntos fijos y ductos de escaleras, ascensores, y otros	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
Muros divisorios y particiones				
• corredores en áreas públicas	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
• muros divisorios de altura total	1.0	No dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
• muros divisorios de altura parcial	2.5	No dúctiles	No dúctiles	Húmedos ⁽¹⁾
Elementos en voladizo vertical				
• áticos, parapetos y chimeneas	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Anclaje de enchapes de fachada	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos
Atillos	1.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Cielos rasos	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido ⁽³⁾
Anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2.50 m de altura, incluyendo el contenido				
• Diseñadas de acuerdo al Título F	2.5	Especiales	Dúctiles	No requerido ⁽³⁾
• Otras	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No requerido ⁽³⁾
Tejas	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido ⁽³⁾

Notas:

1. Debe verificarse que el muro no pierde su integridad al ser sometido a las derivas máximas calculadas para la estructura.
2. Además de (1) debe verificarse que no interactúa adversamente con la estructura.
3. El elemento no estructural no requiere diseño y verificación sísmica.
4. En el diseño, fabricación y supervisión del montaje de sistemas de estanterías deberán seguirse los lineamientos aplicables establecidos en la sección A.1.3.4 para su diseño estructural, y las demás condiciones que se estipulan al respecto en el Título F.

Fuente: Tabla A.9.5-1 Capítulo A de la NSR-10

Tipos de anclaje según el valor R_p permitido para el elemento no estructural

Según la Tabla 11: Coeficiente de amplificación dinámica a_p , y tipo de anclajes o amarres requeridos, usados para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , para elementos arquitectónicos y acabados el tipo de anclaje o amarre según su grado de desempeño son anclajes **No Dúctiles**; por lo que la sección A.9.4.9.3 de [24] define que el valor de R_p será de 1.5.

Masa del elemento (M_p)

Según la sección G.12.3.4.1. de [15] la densidad de diseño de la guadua será de 800kg/m³ y la del vidrio será de 2500kg/m³ según la Tabla 3: Características físicas y mecánicas convencionales de productos de base vítrea.

Tabla 12: Masa total de la ventana

ELEMENTO	CANTIDAD	DENSIDAD Kg/m ³	DIAMETRO m	ESPESOR m	ANCHO m	LONGITUD m	AREA m ²	VOLUMEN m ³	MASA Kg
VERTICALES PRINCIPALES	3	800	0.08	0.008	-	1.20	0.002	0.0022	5.212
HORIZONTALES PRINCIPALES	2	800	0.08	0.008	-	1.84	0.002	0.0033	5.327
VERTICALES HOJA	2	800	0.06	0.008	-	1.04	0.001	0.0014	2.175
HORIZONTALES HOJA	2	800	0.06	0.008	-	0.42	0.001	0.0005	0.878
VIDRIO PRINCIPAL	1	2500	-	0.004	1.24	1.04	1.290	0.0052	12.896
VIDIO HOJA	1	2500	-	0.004	0.4	0.92	0.368	0.0015	3.680
MASA TOTAL DEL ELEMENTO									30.168

Fuente: Propia

La *Tabla 12: Masa total de la ventana* muestra el peso de calculado de cada uno de los elementos que compone el prototipo de marco para ventana objeto de este documento, estableciendo como masa total del elemento 30.168 Kg utilizado para el cálculo de la fuerza sísmica de diseño.

Ecuación 13: Fuerzas sísmicas de diseño obtenido

$$F_p = \frac{0.23 * 1}{1.5} * 9.81 * 30.168 \geq \frac{0.15 * 1}{2} * 9.81 * 30.168$$

$$F_p = 45.378 \geq 22.195$$

Fuente: Propia

Se remplace los valores obtenidos y definidos en la *Ecuación 10: Fuerzas sísmicas de diseño* dando como resultado que F_p es igual a 22.195.

Fuerza sísmica de diseño (E)

Según la sección A.9.0 de [24] las fuerzas sísmicas reducidas de diseño se evalúan mediante la *Ecuación 14: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño* establecidas por [24].

Ecuación 14: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño

$$E = \frac{F_p}{R_p}$$

Fuente: Sección A.9.0 título A de la NSR-10

Donde:

- E: Fuerza sísmica reducida de diseño.
- F_p : Fuerza sísmica horizontal sobre el elemento no estructural.
- R_p : Coeficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural.

Ecuación 15: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño obtenidas

$$E = \frac{45.378}{1.5} = 30.252 \text{ N}$$

Fuente: Propia

Teniendo los valores, se remplace en la ecuación obteniendo 30.252 N como la fuerza sísmica de diseño a utilizar en el diseño del prototipo objeto de este documento.

- **Evaluación de cargas de viento**

Según la sección B.6.5.12.2.2. de [26] define la *Ecuación 16: Presión de viento de diseño* para evaluar la carga de viento para edificios bajos los cuales son considerados aquellos que tienen una altura menor a 18 metros.

Ecuación 16: Presión de viento de diseño

$$p = q_h [(GC_{pf}) - (GC_{pi})]$$

Fuente: Ecuación B.6.5-16 Capítulo B de la NSR-10

Donde:

- p: Presión de viento de diseño.
- q_h : Presión por velocidad.
- GC_{pf} : Coeficientes de presión externa.
- GC_{pi} : Coeficientes de presión interna.

Presión por velocidad (q_h)

Según la sección B.6.5.10 de [26] define la *Ecuación 17: Presión por velocidad* para evaluar la presión por velocidad.

Ecuación 17: Presión por velocidad

$$q_h = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I$$

Fuente: Ecuación B.6.5-13 Capítulo B de la NSR-10

Donde:

- q_h : Presión por velocidad.
- K_z : Coeficiente de presión dinámica.
- K_{zt} : Factor topográfico.
- K_d : Factor de dirección de viento.
- V: Velocidad básica de viento.
- I: Factor de importancia.

Coeficiente de presión dinámica (K_z)

Para el coeficiente de la presión Dinámica se halla define mediante la *Tabla 13: Coeficientes de Exposición para la Presión Dinámica*, K_h y K_z teniendo en cuenta que la estructura base de diseño se encuentra en la exposición B en el caso 2.

Tabla 13: Coeficientes de Exposición para la Presión Dinámica, K_h y K_z

Altura sobre el terreno Z	Exposición, Nota 1			
	B		C	D
m	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2
0 – 4.5	0.7	0.57	0.85	1.03
6.0	0.7	0.62	0.90	1.08
7.5	0.7	0.66	0.94	1.12
9.0	0.7	0.70	0.98	1.16
12.0	0.76	0.76	1.04	1.22
15.0	0.81	0.81	1.09	1.27
18.0	0.85	0.85	1.13	1.31
20.0	0.89	0.89	1.17	1.34
24.5	0.93	0.93	1.21	1.38
27.5	0.96	0.96	1.24	1.40
30.5	0.99	0.99	1.26	1.43
36.5	1.04	1.04	1.36	1.52
42.5	1.09	1.09	1.36	1.52
49.0	1.13	1.13	1.39	1.55
55.0	1.17	1.17	1.43	1.58
60.0	1.20	1.20	1.46	1.61
76.0	1.28	1.28	1.53	1.68
90.0	1.35	1.35	1.59	1.73
107.0	1.41	1.41	1.64	1.78
122.0	1.47	1.47	1.69	1.82
137.0	1.52	1.52	1.73	1.86
152.0	1.56	1.56	1.77	1.89

Fuente: Tabla B.6.5-3 Capítulo B de la NSR-10

Ya que la altura base de la estructura de diseño es de 6m el factor $K_z = 0.62$

Factor topográfico (K_{zt})

Debido a que la estructura base de diseño se encuentra en la zona urbana y no cumple con las condiciones de la sección B.6.5.7.1 de [26] el factor K_{zt} será igual a 1.

Factor de direccionalidad del viento (K_d)

Teniendo en cuenta que el elemento objeto de este documento hace parte de los componentes y recubrimientos el factor de direccionalidad del viento (K_d) será 0.85 definido en la *Tabla 14: Factor de Direccionalidad del viento K_d* establecida en [26].

Tabla 14: Factor de Direccionalidad del viento K_d

Tipo de Estructura	Factor de Direccionalidad del Viento, K_d *
Edificios Sistema Principal de Resistencia de Cargas de Viento	0.85
Componentes y Recubrimientos	0.85
Cubiertas Abovedadas	0.85
Chimeneas, Tanques y Estructuras Similares	
Cuadradas	0.90
Hexagonales	0.95
Redondas	0.95
Avisos Sólidos	0.85
Avisos Abiertos y Estructura Rectangular	0.85
Torres en Celosía	
Triangular, Cuadrada y Rectangular	0.85
Todas las otras secciones transversales	0.95

* El factor de direccionalidad K_d ha sido calibrado con las combinaciones de carga especificadas. Este factor debe usarse cuando se usen las combinaciones B.2.3 y B.2.4 correspondientes.

Fuente: Tabla B.6.5-4 Capítulo B de la NSR-10

Velocidad del viento (V)

Bogotá se encuentra en la Zona 2 Según figura B.6.4-1 de [26] por lo que la velocidad del viento será 28 m/s como lo muestra la *Tabla 15: Velocidad del viento*.

Tabla 15: Velocidad del viento

Región	Velocidad del viento			
	Combinaciones de carga de			
	B.2.3		B.2.4	
	m/s	km/h	m/s	km/h
1	17	60	22	75
2	22	80	28	100
3	28	100	35	125
4	33	120	42	150
5	36	130	46	165

Fuente: Figura B.6.4-1 Capítulo B de la NSR-10

Teniendo todos los valores establecidos en la *Ecuación 17: Presión por velocidad* se rempazan obteniendo 252.85 N/m^2 como resultado para la presión de velocidad.

Ecuación 18: Presión por velocidad obtenida

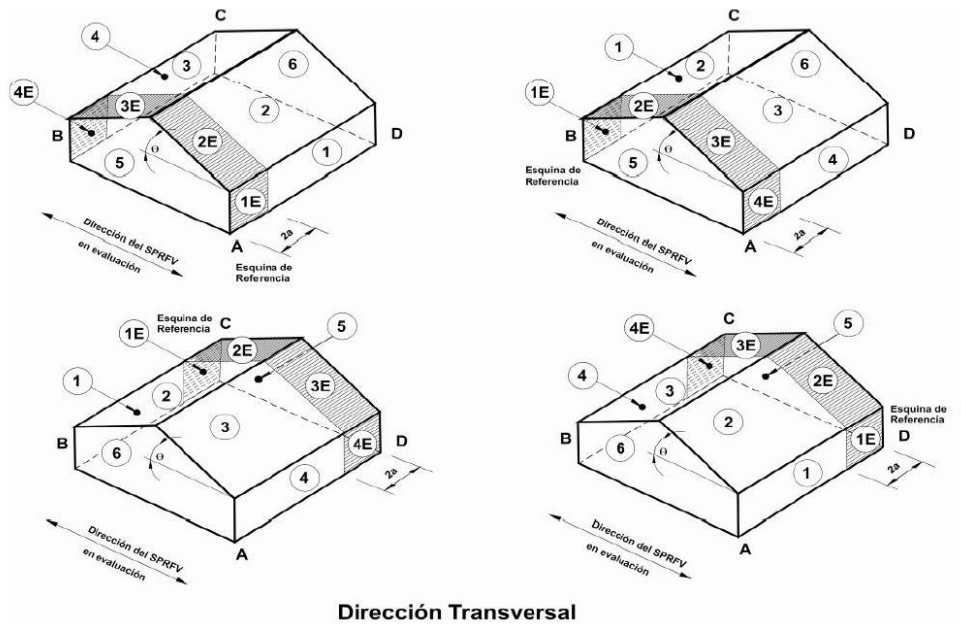
$$q_h = 0.613 * 0.62 * 1 * 0.85 * 28^2 * 1 = 252.85 \text{ N/m}^2$$

Fuente: Propia

Coeficiente de presión externa (GC_{pf})

Según la figura B.6.5-7 de [26] el marco para la ventana se encontrará en la sección 5 de la estructura como se puede evidenciar en la *Ilustración 10: Zonas dirección transversal de SPRFV*.

Ilustración 10: Zonas dirección transversal de SPRFV



Fuente: Figura B.6.4-7 Capítulo B de la NSR-10

Por lo que el coeficiente de presión externa (GC_{pf}) es -0.45 dado por la *Tabla 16: Coeficiente de presión Externa G_{cpf}* establecida en [26].

Tabla 16: Coeficiente de presión Externa G_{cpe}

Cubierta Ángulo θ (grados)	Superficie de la edificación									
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E
0-5	0.40	-0.69	-0.37	-0.29	-0.45	-0.45	0.61	-1.07	-0.53	-0.43
20	0.53	-0.69	-0.48	-0.43	-0.45	-0.45	0.80	-1.07	-0.69	-0.64
30-45	0.56	0.21	-0.43	-0.37	-0.45	-0.45	0.69	0.27	-0.53	-0.48
90	0.56	0.56	-0.37	-0.37	-0.45	-0.45	0.69	0.69	-0.48	-0.48

Fuente: Figura B.6.4-7 Capítulo B de la NSR-10

Coeficiente de presión interna (G_{cpi})

Para determinar el coeficiente de presión en muros se debe clasificar el tipo de cerramiento, en este caso solo dimensiona un muro de 2.3 x 2.7 m y un vano de diseño de 1.2x2m; según [26] un edificio parcialmente cerrado es aquel el cual cumple con las siguientes condiciones:

Ecuación 19: Cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado

$$A_0 > 1.10A_{oi}$$

$$A_0 > 0.37m^2 \text{ o } A_0 > 0.01A_g, \text{ el que sea mayor}$$

$$\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$$

Fuente: Capítulo B.6.2 Capítulo B de la NSR-10

Donde:

- A_0 : Área total de aberturas en una pared que reciba presión positiva externa
- A_g : Área total de la pared a la cual A_0 hace referencia.
- A_{oi} : La suma de las áreas de aberturas, aun incluir A_0 , en la revestimiento del edificio (paredes y cubierta).
- A_{gi} : La suma de las áreas brutas, sin incluir A_g , del revestimiento del edificio (paredes y cubierta).

Teniendo los valores se remplaza en la Ecuación 19: *Cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado* obteniendo los siguientes resultados:

Ecuación 20: Áreas del edificio de diseño

$$A_0 = 1.2 \times 2 = 2.4m^2$$

$$A_g = 2.3 \times 2.7 = 6.21 m^2$$

Fuente: Propia

Como se parametriza solo un tipo de vano sin tener en cuenta la cubierta o más muros A_{oi} es igual a 0.

Ecuación 21: Verificación de cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado

$$A_{oi} = 0$$

$$A_o > A_{oi}$$

$$2.4 m^2 > 0$$

$$A_o > 0.37 m^2$$

$$2.4 m^2 > 0.37 m^2$$

$$A_o > 0.01 A_g$$

$$2.4 > 0.01 (6.21)$$

Fuente: Propia

Como se parametriza solo un tipo de muro sin tener en cuenta la cubierta A_{gi} es igual a 0.

Ecuación 22: Verificación final de cumplimiento para Edificio parcialmente cerrado

$$\frac{A_{oi}}{A_{gi}} < 0.02$$

Fuente: Propia

El coeficiente de presión interna (GC_{pi}) será -0.55 establecido por la *Tabla 17: Coeficiente de presión en Muros GC_{pi}* , definido en [26].

Tabla 17: Coeficiente de presión en Muros GC_{pi}

Clasificación del Cerramiento	GC_{pi}
Edificios Abiertos	0.00
Edificios Parcialmente Cerrados	0.55
	-0.55
Edificios Cerrados	0.18
	-0.18

Fuente: Figura B.6.5-2 Capítulo B de la NSR-10

Teniendo los valores se remplazan en la *Ecuación 16: Presión de viento de diseño* dando como resultado 25.29 N/m².

Ecuación 23: Presión de viento de diseño

$$p = 252.85[-0.45 - (-0.55)] = 25.29 \text{ N/m}^2$$

Fuente: Propia

9.1.4. COMBINACIONES DE CARGA

Según [15] se trabajarán con las combinaciones de carga para método de esfuerzos admisibles que se encuentra en la sección B.2.3.1 de [26], de las cuales aplicarán las siguientes:

D

D+W

D+0.7E

D+0.75W

D+0.75(0.7E)

0.6D+W

0.6D+0.7E

Sabiendo que D representa las cargas muertas, W las cargas por viento y E las cargas sísmicas.

9.1.5. PARAMETROS FUNCIONALES Y OPERACIONALES

En este proyecto se utilizará guadua Anglulofilia Kunth de los dos diámetros más pequeños vendidos comercialmente: de 8 cm para el marco principal y de 6 cm para el marco secundario rigiéndose por las especificaciones de [15].

9.1.5.1. Especificaciones Guadua Anglulofilia Kunth

Según [15] la guadua debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Tiempo de cosecha: 4 a 6 años.
- Masa específica: 800Kg/m³.
- Módulo de Elasticidad: 9.5 MPa.

9.1.6. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS ADMISIBLES MARCO VENTANA

El marco de la ventana se analizara en las condiciones ideales las cuales se observan en la *Tabla 18: Esfuerzos Admisibles Guadua*, por lo general se debe estimar estos valores de resistencia en una muestra del culmo de Guadua utilizado con el fin de determinar su comportamiento, sin embargo el análisis se realizara en condiciones teóricas, ya que en el periodo de ejecución del presente trabajo, no se

cuenta con laboratorios disponibles debido a la contingencia sanitaria que se extiende en el País.

Tabla 18: Esfuerzos Admisibles Guadua

F_b Flexión	F_t Tracción	F_c Compresión \parallel	F_{p^*} Compresión \perp	F_v Corte
15	18	14	1.4	1.2

\parallel = compresión paralela al eje longitudinal.

\perp = compresión perpendicular al eje longitudinal.

*La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

Fuente: Tabla G.12.7-1 Capítulo G de la NSR-10

De igual forma es necesario determinar cuál es el esfuerzo admisible con coeficientes de modificación los cuales van en función de la Humedad, la duración de carga y la esbeltez

- Duración de Carga (C_D): Como se analizará inicialmente la ventana no es un elemento estructural sin embargo sí tendrá que estar sometida constantemente a cargas de viento por hacer parte de la envolvente de la cubierta y a cargas sísmicas debido a su instalación en los vanos de los muros, es por ello que aplica el coeficiente de carga viento y sismo definidos en *Tabla 19: Duración de Carga* establecidos en [15].

Tabla 19: Duración de Carga

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión \parallel	Compresión \perp	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
7 días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
Impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Fuente: Tabla G.12.7-4 Capítulo G de la NSR-10

- Contenido de Humedad (C_M): [15] indica que la guadua pierde resistencia y rigidez a medida que aumenta el contenido de Humedad, el certificado nos indica que es menor a 50% sin embargo se utilizara la condición más desfavorable es decir $CH > 19\%$ establecido en la *Tabla 20 Contenido Humedad*.

Tabla 20 Contenido Humedad

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	F_b	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	F_t	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	F_c	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	F_p	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	F_y	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	E_{min}								

Fuente: Tabla G.12.7-5 Capitulo G de la NSR-10

- Temperatura (C_t): [15] indica que cuando los elementos estructurales estén sometidos a altas temperaturas, los valores de esfuerzos admisibles deben ser multiplicados por un factor, debido a que las condiciones ambientales de diseño se realizan en la ciudad de Bogotá la temperatura es menor a 37° C el factor C_t estará definido en la *Tabla 21 Coeficiente Temperatura*.

Tabla 21 Coeficiente Temperatura

Esfuerzos		Condiciones de servicio	(C_t)		
			$T \leq 37^\circ C$	$37^\circ C \leq T \leq 52^\circ C$	$52^\circ C \leq T \leq 65^\circ C$
Flexión	F_b	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	F_t	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	
Compresión paralela	F_c	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	F_p	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	F_y	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Modulo de elasticidad	E	Húmedo		0.80	0.80
		Seco		0.90	

Fuente: Tabla G.12.7-6 Capitulo G de la NSR-10

Los valores de esfuerzos admisibles modificados se evidencian en la *Tabla 22 Resumen de esfuerzos Admisibles*.

Tabla 22 Resumen de esfuerzos Admisibles

Esfuerzos	Esfuerzo Admisible (Mpa)	Cd	Cm	Ct	Esfuerzo Admisible Modificado (Mpa)
Flexion	15	1,6	0,7	1	16,8
Traccion	18	1,6	0,8	1	23,0
Compresion Paralela	14	1,6	0,7	1	15,7
Compresion Perpendicular	1,4	0,9	0,8	1	1,0
Corte	1,2	1,6	0,8	1	1,5
Modulo Elasticidad	9,5	NA	0,9	1	8,6

Fuente: Propia

9.1.7. DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION

Según [15] para los diseños a flexión se debe evaluar los siguientes Efectos y en ningún caso pueden sobrepasar los esfuerzos Admisibles modificados.

- ✓ Deflexiones
- ✓ Flexión
- ✓ Cortante Paralelo a la Fibra
- ✓ Aplastamiento

9.1.7.1. Deflexiones

Las deflexiones admisibles según [15] estarán limitadas a los valores de la *Tabla 23 Deflexiones Admisibles*, debido a que la ventana por lo general se instala en muros exteriores con acabados frágiles se define L/240 para hallar la deflexión de los elementos de esta.

Tabla 23 Deflexiones Admisibles

Condición de servicio	Cargas vivas (l/k)	Viento o Granizo (l/k)	Cargas totales (l/k) Nota 2
Elementos de techo / Cubiertas			
Cubiertas inclinadas			
Cielo rasos de pañete o yeso	l/360	l/360	l/240
Otros cielo rasos	l/240	l/240	l/180
Sin cielo raso	l/240	l/240	l/180
Techos planos	Nota 1	Nota 1	l/300
Techos industriales	-	-	l/200
Entrepisos			
Elementos de entrespiso	l/360	-	l/240
Entrepisos rígidos	-	-	l/360
Muros exteriores			
Con acabados frágiles	-	l/240	-
Con acabados flexibles	-	l/120	-

Notas:

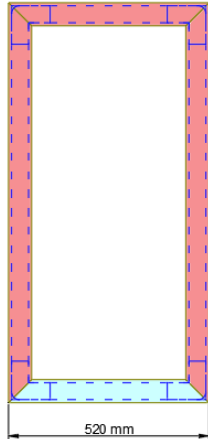
1. Dependiendo del tipo de cielo raso
2. Por evaluación de cargas totales, a largo plazo estas no deben invertir pendientes de drenaje en techos.
3. Considerando únicamente la deflexión inicial G.12.8.9.7

Fuente: Tabla G.12.8-2 Capítulo G de la NSR-10

Se tiene dos elementos principales los cuales están sometidos a flexión estos son las fibras inferiores y superiores del marco de la ventana y del marco de la Hoja; sin embargo, la fibra inferior es la de mayor esfuerzo debido al peso del vidrio y el peso propio del elemento, por el ende los valores serán los siguientes:

- **Deflexión máxima permitida marco Hoja Basculante**

Ilustración 11 Marco Basculante



Según lo mencionado anteriormente la *Ecuación 24 Deflexión máxima Basculante* da como resultado que la deflexión máxima para la hoja basculante será de 2.16mm teniendo en cuenta que la fibra inferior de la hoja basculante es de 520 mm como se muestra en *Ilustración 11 Marco Basculante*.

Ecuación 24 Deflexión máxima Basculante

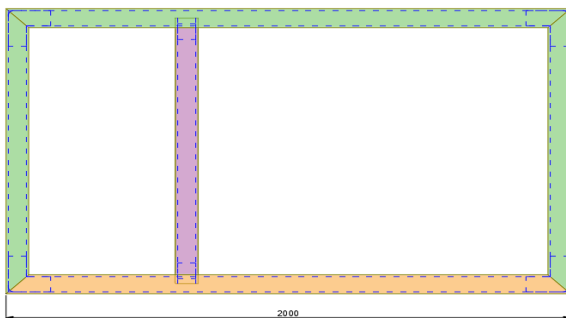
$$\frac{L}{240} = \frac{520}{240} = 2.16mm$$

Fuente: Propia

Fuente: Propia

- **Deflexión máxima permitida marco General**

Ilustración 12 Marco General



Fuente: Propia

La *Ecuación 25 Deflexión Máxima Marco* da como resultado que la deflexión máxima para el marco principal será de 8.3mm teniendo en cuenta que la fibra inferior del marco principal es de 2000mm como se evidencia en la *Ecuación 25 Deflexión Máxima Marco*.

Ecuación 25 Deflexión Máxima Marco

$$\frac{L}{240} = \frac{2000}{240} = 8.3 mm$$

Fuente: Propia

9.1.7.2. Efectos del Cortante

Se debe verificar que la Relación $L/D \leq 15$, para la ventana se tiene los siguientes casos.

- **Marco Hoja Basculante**

Ecuación 26 Verificación de parámetros hoja basculante

$$\frac{520}{60} \leq 15 \rightarrow 8.66 \leq 15 \text{ Cumple Criterio}$$

Fuente: Propia

Para este caso debemos usar un Factor de corrección (C_c) establecido por [15] que aplica sobre el módulo de elasticidad promedio, como se muestra en la *Tabla 24 Factor Corrección Cortante*.

Tabla 24 Factor Corrección Cortante

I/D_e	C_c
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Nota: La guadua angustifolia kunth tiene una relación de $E/G = 28$

Fuente: Tabla G.12.8-3 Capítulo G de la NSR-10

Es decir, para este caso el módulo de elasticidad estará dado por la

Ecuación 27 Modulo de elasticidad Corregido

$$E = E' * C_c$$

Fuente: Propia

Donde:

- E: Modulo de elasticidad corregido.
- E': Modulo de elasticidad modificado
- Cc: Factor de corrección.

Teniendo los valores el resultado del módulo de elasticidad corregido es de 6.97Mpa.

Ecuación 28 Modulo de elasticidad Corregido final

$$E = 8.6 \text{ Mpa} * 0.81 = 6.97 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

- **Marco General**

Ecuación 29 Verificación de parámetros hoja basculante

$$\frac{2000}{80} \leq 15 \rightarrow 25 \leq 15 \quad \text{No Cumple Criterio}$$

Fuente: Propia

En este caso el módulo de elasticidad se mantiene y será de 8.6 MPa.

9.1.7.3. Flexión momento resistente

El esfuerzo a flexión actuante (f_b) sobre cualquier sección de guadua no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisible, esto se definirá con la *Ecuación 30: Esfuerzo a flexión actuante* definida en [15].

Ecuación 30: Esfuerzo a flexión actuante

$$f_b = \frac{M}{S} \leq f'_b$$

Fuente: Ecuación G.12.8-4 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- F_b : Esfuerzo a flexión actuante.
- M : Momento actuante del elemento N.
- F'_b : Esfuerzo Admisible modificado en MPa.
- S : Modulo de Sección en mm^3 .

El módulo de Sección se calcula a partir de la *Ecuación 31: Modulo Sección*, para este caso se tiene dos módulos de sección debido a que el marco de la Hoja es de 60mm de diámetro mientras el marco general de la ventana es de 80mm de diámetro.

Ecuación 31: Modulo Sección

$$S = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32D_e}$$

Fuente: Ecuación G.12.8-5 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- S : Modulo de sección en mm^3 .
- D_e : Diámetro promedio exterior del culmo en mm.
- t : Espesor promedio de la pared del culmo en mm.

Según lo anterior se tendría los siguientes módulos de Sección teniendo en cuenta que el espesor de estos es 8 mm.

- Culmos de 60 mm de Diámetro: 15073 mm³
- Culmos de 80 mm de Diámetro: 29677mm³

Por ende, las ecuaciones para esfuerzo a flexión tendrían los siguientes resultados.

- Para culmos de 60 mm remplazando el módulo de sección que está en función del Diámetro y el espesor quedaría:

Ecuación 32: Esfuerzo a flexión actuante culmos 60mm

$$Fb = \frac{M}{15072} \leq 16.8 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

- Para culmos de 80 mm remplazando el módulo de sección que está en función del Diámetro y el espesor quedaría:

Ecuación 33: Esfuerzo a flexión actuante culmos 60mm

$$Fb = \frac{M}{29677} \leq 16.8 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

9.1.7.4. Cortante paralelo a las fibras

Para el valor de cortante paralelo a la fibra (f_v) [15] define la *Ecuación 34: Cortante Paralelo a la fibra*.

Ecuación 34: Cortante Paralelo a la fibra

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$$

Fuente: Ecuación G.12.8-9 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- f_v : Esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante, en MPa.
- A: Área de la sección transversal del elemento de guadua rolliza en mm².
- D_e : Diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm.
- F'_v : Esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en Mpa.
- V: Fuerza cortante en la sección considerada, en N.

- Para culmos de 60 mm reemplazando los valores obtenidos en la *Ecuación 34: Cortante Paralelo a la fibra* que está en función del Diámetro y el espesor es:

Ecuación 35: Cortante Paralelo a la fibra culmos 60mm

$$Fv = \frac{2V}{3921} \quad 3.91 \leq 15.7Mpa$$

Fuente: Propia

- Para culmos de 80 mm reemplazando los valores obtenidos en la *Ecuación 34: Cortante Paralelo a la fibra* e que está en función del Diámetro y el espesor es:

Ecuación 36: Cortante Paralelo a la fibra culmos 60mm

$$Fv = \frac{2V}{5430} \quad 3.65 \leq 15.7Mpa$$

Fuente: Propia

9.1.7.5. Aplastamiento

Los esfuerzos de compresión se deben verificar mediante la *Ecuación 37: Aplastamiento* como indica [15] en los apoyos y lugares en los que hay cargas concentradas es decir en las uniones del marco, ya que se debe realizar perforaciones.

Ecuación 37: Aplastamiento

$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2l} \leq F'_p$$

Fuente: Ecuación G.12.8-11 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- F'_p : Esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en Mpa.
 - f_p : Esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, en Mpa.
 - D_e : Diámetro externo promedio de la sección de guadua rolliza, en mm.
 - t : Espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm.
 - R : Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, en N.
- Para culmos de 60 mm reemplazando la expresión que está en función del Diámetro y el espesor es:

Ecuación 38: Aplastamiento culmos 60mm

$$F_p = 1.4 \frac{R}{l} \leq 1.0 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

- Para culmos de 80 mm remplazando la expresión que está en función del Diámetro y el espesor es:

Ecuación 39: Aplastamiento culmos 60mm

$$F_p = 1.875 \frac{R}{L} \leq 1.0 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

9.1.8. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESION AXIAL

Los elementos que funcionarán a compresión axial serán todos los elementos verticales que componen el Marco del basculante como el marco general de la ventana, como se mostró anteriormente en el avalúo de cargas, las fuerzas ejercidas por la presión del viento y las fuerzas sísmicas horizontales generan deformación que comprimen las fibras internas de la guadua, para ello [15] pide evaluar la longitud efectiva, la cual se define mediante la *Ecuación 40: Longitud Efectiva*.

Ecuación 40: Longitud Efectiva

$$l_e = l_u k$$

Fuente: Ecuación G.12.9-2 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- L_u : Longitud soportada lateralmente del elemento
- K : Coeficiente de longitud efectiva que va en función del tipo de apoyo que tiene el elemento definido en la *Tabla 25 Coeficientes Longitud Efectiva*.

Tabla 25 Coeficientes Longitud Efectiva

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.1

* Cuando se justifique apropiadamente, se pueden utilizar valores de **k** de la tabla G.4.3-1

Fuente: Ecuación G.12.9-2 Capítulo G de la NSR-10

La esbeltez (λ) de los elementos verticales se calculan mediante la *Ecuación 41: Esbeltez* que está determinada por [15].

Ecuación 41: Esbeltez

$$\lambda = \frac{l_e}{r}$$

Fuente: Ecuación G.12.9-3 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- λ : Relación de esbeltez del elemento en mm.
- l_e : Longitud efectiva en mm.
- r : Radio de giro de la sección en mm.

El radio de giro (r) según [15] se puede calcular a partir de la *Ecuación 42: Radio de giro*.

Ecuación 42: Radio de giro

$$r = \frac{\sqrt{D_e^2 + (D_e - 2t)^2}}{4}$$

Fuente: Ecuación G.12.9-4 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- D_e : Diámetro externo promedio de la sección de la guadua, en mm.
- t : espesor promedio de la sección de la guadua, en mm.
- r : Radio de giro de la sección.

Remplazando los valores en la *Ecuación 42: Radio de giro* se obtienen los siguientes resultados:

- Para culmos de 60mm se tiene un radio de giro de 63.90mm:

Ecuación 43: Radio de giro culmos 60mm

$$r = \sqrt{(60)^2 + \frac{(60 - 2(8))^2}{4}} = 63.90$$

Fuente: Propia

- Para culmos de 80mm se tiene un radio de giro de 86.16mm:

Ecuación 44: Radio de giro culmos 60mm

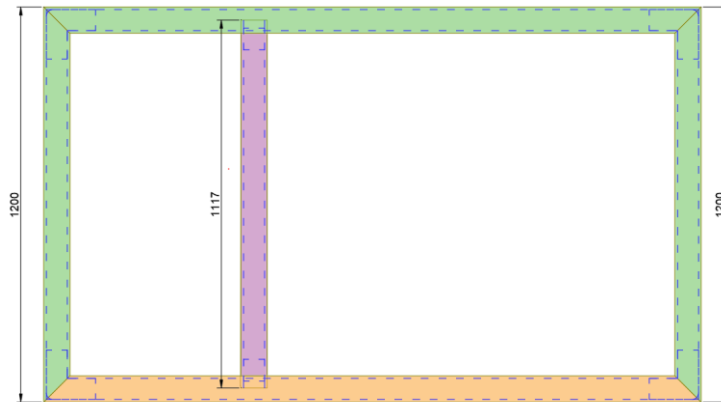
$$r = \sqrt{(80)^2 + \frac{(80 - 2(8))^2}{4}} = 86.16$$

Fuente: Propia

El prototipo de ventana tiene 3 elementos verticales principales los cuales se describen y se determina su esbeltez.

- Los elementos verticales del marco general se muestran en la *Ilustración 13 Montantes Verticales Laterales y central*.

Ilustración 13 Montantes Verticales Laterales y central



Fuente: Propia

- Reemplazando los valores en la *Ecuación 41: Esbeltez* se obtiene una esbeltez de 13.92 en los montantes laterales sabiendo que estos elementos tienen una longitud de 1200mm, y un diámetro 80mm.

Ecuación 45: Esbeltez montantes laterales

$$\lambda = \frac{1.0 * 1200}{86.16} = 13.92$$

Fuente: Propia

- La esbeltez del montante central es de 12.64 teniendo en cuenta que este elemento tiene una longitud de 1117mm y un diámetro 80mm.

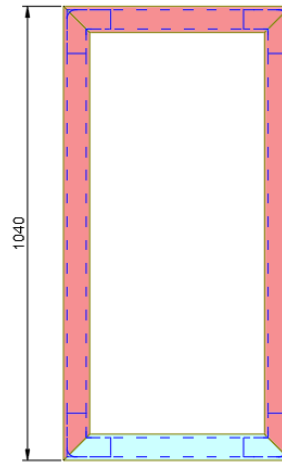
Ecuación 46: Esbeltez montante central

$$\lambda = \frac{1.0 * 1117}{86.16} = 12.64$$

Fuente: Propia

- Elementos Verticales de Basculante, en este caso solo se tiene los montantes laterales como se observa en la *Ilustración 14 Montantes Basculante*.

Ilustración 14 Montantes Basculante



Fuente. Propia

- La esbeltez para los montantes laterales del basculante es de 16.275 teniendo en cuenta que estos elementos tienen una longitud de 1040mm y un diámetro 60mm.

Ecuación 47: Esbeltez montantes laterales hoja basculante

$$\lambda = \frac{1.0 * 1040}{63.90} = 16.275$$

Fuente. Propia

Se hace la clasificación de columnas establecido por [15], según la relación de esbeltez que da como resultados que estas son columnas cortas como se indica en la *Tabla 26 Clasificación Columnas*.

Tabla 26 Clasificación Columnas

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$
Larga	$C_k < \lambda < 150$

Fuente: Tabla G.12.9-2 Capítulo G de la NSR-10

Teniendo la clasificación de las columnas definidas se hace el cálculo del esfuerzo máximo definido por [15] con la *Ecuación 48 Esfuerzos Máximos columnas cortas*.

Ecuación 48 Esfuerzos Máximos columnas cortas

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c$$

Fuente: Ecuación G.12.9-2 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- F_c : Esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en Mpa.
- N : Fuerza de compresión paralela a la fibra actuante, en N.
- A_n : Área neta de la sección transversal, en mm^2 .
- F'_c : Esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado, en Mpa.

Remplazando los valores se obtienen los siguientes resultados:

- Montantes de 80mm de Diámetro

Ecuación 49 Esfuerzos Máximos columnas cortas montantes 80mm

$$f_c = \frac{N}{1810} \leq F'_c$$

Fuente. Propia

- Montantes de 60mmde Diámetro

Ecuación 50 Esfuerzos Máximos columnas cortas montantes 60mm

$$f_c = \frac{N}{1307} \leq F'_c$$

Fuente. Propia

9.1.9. DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXO COMPRESION

Como se analizó anteriormente todos los elementos verticales también tienen cargas laterales que generan flexión en las fibras de la guadua, según [15] se debe verificar a partir de la *Ecuación 51 Flexo Compresión*.

Ecuación 51 Flexo Compresión

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1$$

Fuente: Ecuación G.12.10-2 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- F_c : Esfuerzo de compresión mínimo paralela a la fibra actuante, en Mpa.
- F'_c : Esfuerzo de compresión paralela a la fibra admisible, modificado, en Mpa.
- F_b : Esfuerzo a flexión actuante, en Mpa.
- F'_b : Esfuerzo a flexión admisible modificado, en Mpa
- K_m : Coeficiente de magnificación de momentos

Se debe calcular un coeficiente de magnificación (K_m) de momentos con la *Ecuación 52 Coeficiente de magnificación de momentos* establecida por [15].

Ecuación 52 Coeficiente de magnificación de momentos

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$$

Fuente: Ecuación G.12.10-3 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

- K_m : Coeficiente de magnificación de momentos.
- N_a : Carga de compresión actuante en N.
- N_{cr} : Carga critica de Euler

Para la carga critica de Euler [15] define la *Ecuación 53 Carga critica de Euler*.

Ecuación 53 Carga critica de Euler

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{l_e^2}$$

Fuente: Ecuación G.12.10-4 Capítulo G de la NSR-10

Donde:

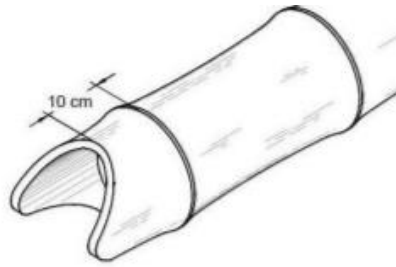
- N_{cr} : Carga critica de Euler, en N.
- $E_{0.05}$: Modulo de elasticidad del percentil 5, en Mpa.
- I : Momento de inercia de la sección, en mm^4 .
- L_e : Longitud efectiva del elemento, en mm.

9.1.10. UNIONES

En la muestra de ventana realizada se ha desarrollado dos tipos de uniones las cuales se caracterizan de la siguiente manera.

- Corte Boca de Pescado: son aquellas donde se realiza un corte cóncavo transversal al eje de la guadua como se muestra en *Ilustración 15: Corte Boca Pescado*.

Ilustración 15: Corte Boca Pescado



Fuente. NSR 10 Ecuación G.12.11-2

- Corte Pico de Flauta: Este corte se utiliza para Guaduas que llegan en ángulos entre 0° a 90° y se puede visualizar en la *Ilustración 16: Corte Pico Flauta*.

Ilustración 16: Corte Pico Flauta

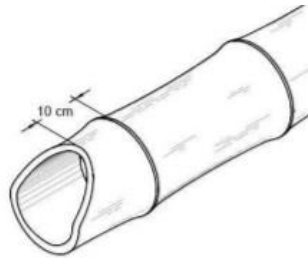


Figura G.12.11-3 - Corte Pico de flauta

Fuente. NSR 10 Ecuación G.12.11-3

En la ventana se han usado tacos de madera atornillados a los culmos de guadua, sin embargo este tipo de unión no está contemplado en la norma, pero esta sí indica que se puede usar cualquier tipo de unión siempre y cuando se verifiquen por un estudio científico de 30 ensayos, que permita verificar que la capacidad de la unión propuesta es equivalente o superior a las expuestas en la norma, debido a contingencia sanitaria actual no fue posible utilizar los laboratorios para confirmar la resistencia a la cual se podía someter la unión propuesta.

9.1.11. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL VIDRIO

Para esta carpintería se usó un vidrio crudo de 4mm, el cual se usa comúnmente en viviendas de interés social, Según [23] el esfuerzo admisible para un vidrio vertical (definido como todo elemento instalado con una inclinación igual o menor a 15° respecto a la vertical), para ello se debe cumplir la *Ecuación 54: Ecuación de diseño estructural del vidrio*.

Ecuación 54: Ecuación de diseño estructural del vidrio

$$F_{gw} \leq F_{ga}$$

Fuente: Ecuación K.4.2-1 Capítulo K de la NSR-10

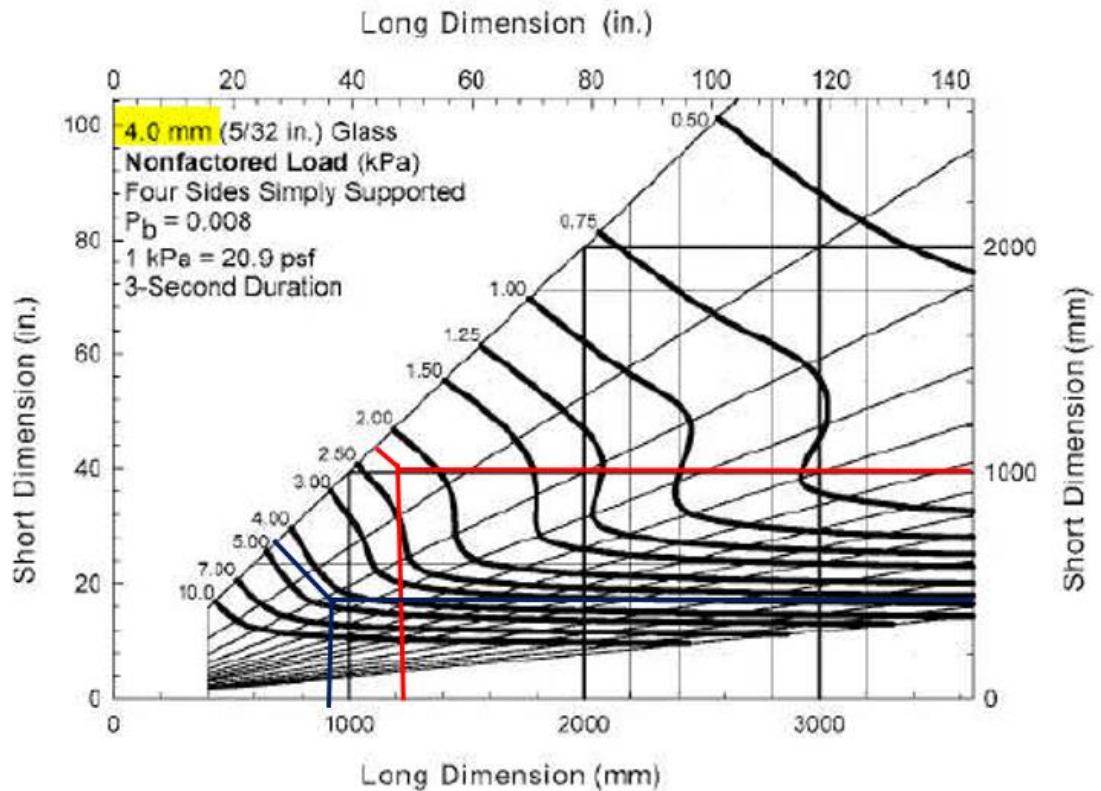
Donde:

- F_{gw} : Carga sobre el vidrio de acuerdo con K.4.2.4 de [23]
- F_{ga} : Carga de corta duración sobre el Vidrio Determinada de Acuerdo con las Especificaciones de [27].

La carga F_{gw} se calcula a partir de las especificaciones [27], en este caso se utilizara los pasos indicados en [23] para acristalamiento simples monolíticos con soporte continuo a lo largo de los cuatro lados:

Se determina la NFL (Carga no Factorizada) a partir de la *Ilustración 17: Carga No factorizada vidrio 4mm*, la cual está en función de la dimensión del vidrio y el espesor, para este caso se utilizara un vidrio fijo principal de 1240x1040 y un vidrio en el basculante de 400x920mm.

Ilustración 17: Carga No factorizada vidrio 4mm



Fuente: ASTM E1300-09^a Standard Practice for determining Load resistance of glass in Building

- Vidrio Principal 1240x1040mm NFL:2.25Kpa
- Vidrio Basculante 400x920mm NFL: 4.5 Kpa

Se determina el GTF (Factor de tipo de vidrio) el cual se indica en la *Tabla 27 Factor Tipo de Vidrio* con sigla (AN) vidrio Recocido y según la tabla el factor de corta duración es 1.

Tabla 27 Factor Tipo de Vidrio

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

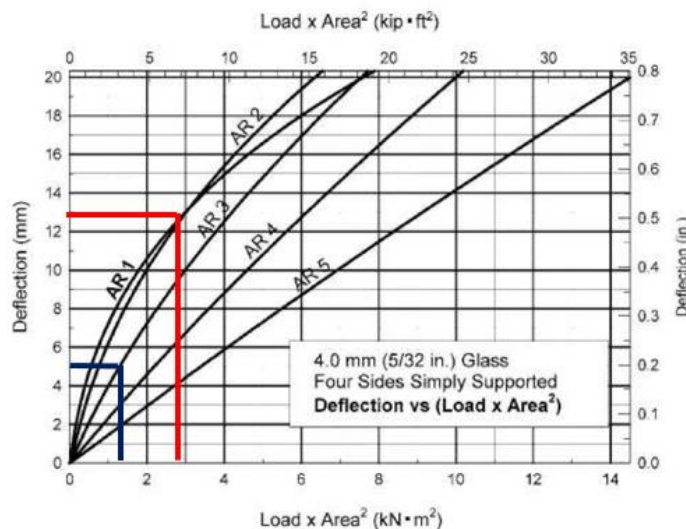
Fuente: ASTM E1300-09^a Standard Practice for determining Load resistance of glass in Building

Se multiplica el valor de NFL (Carga no Factorizada) por GTF (Factor de tipo de vidrio) y así obtener el LR (Carga resistente) de la zona; para cada uno de los elementos se obtuvieron los siguientes resultados:

- Vidrio Principal tenemos $1 * 2.25 \text{ Kpa} = 2.25 \text{ Kpa}$
- Vidrio Basculante tenemos $1 * 4.5 \text{ Kpa} = 4.5 \text{ Kpa}$

Se determinar la deflexión máxima permitida en el centro del vidrio para ello es necesario hallar la relación de la medida larga y la medida corta (AR) para vidrios apoyados en los cuatro extremos, de igual forma es necesario multiplicar el área del vidrio por la carga hallada, esta interpolación se puede observar en *Ilustración 18: Deflexión máxima para vidrio 4mm*.

Ilustración 18: Deflexión máxima para vidrio 4mm



Fuente: ASTM E1300-09^a Standard Practice for determining Load resistance of glass in Building

Con lo mencionado anteriormente se obtienen los siguientes resultados para cada uno de los vidrios que forman el prototipo objeto de este documento.

- Vidrio Principal: $AR=1240/1040 = 1.19$ Aprox = 2
- Vidrio Principal: (Carga x Área): $2.25 \text{ Kpa} \times (1.24 \times 1.04) = 2.90 \text{ N}$
- Deflexión Max: 13 mm

- Vidrio Basculante $AR \ 920/400=2.3$ Aprox = 3
- Vidrio Basculante: (Carga x Área): $4.5 \text{ Kpa} \times (0.92 \times 0.4) = 1.656 \text{ N}$
- Deflexión Max: 5 mm

9.1.12. SIMULACION EN SAP2000

9.1.12.1. Simulación marco principal

Definición de materiales

Para la modelación del marco principal se debe parametrizar el programa ya que el material no se encuentra en este software, los parámetros ya calculados anteriormente como el módulo de elasticidad y el peso específico establecido por [15] se muestran en la *Imagen 7: Creación de Guadua en SAP2000 para la modelación marco principal*.

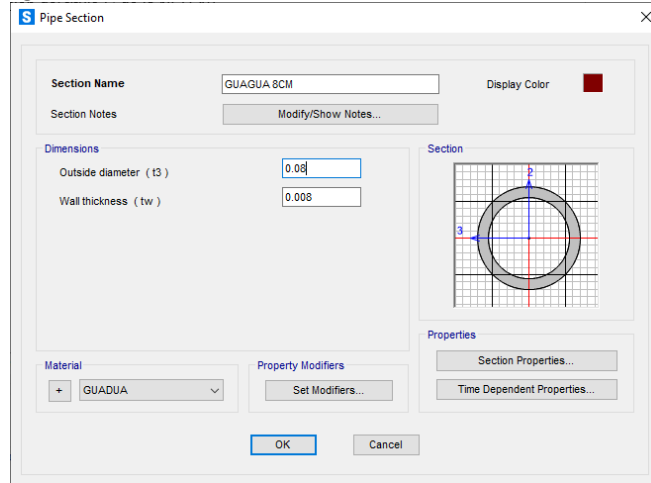
Imagen 7: Creación de Guadua en SAP2000 para la modelación marco principal

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The 'General Data' section has 'Material Name and Display Color' set to 'GUADUA' with a red color swatch, 'Material Type' set to 'Other', and 'Material Grade' and 'Material Notes' are empty. The 'Weight and Mass' section has 'Weight per Unit Volume' set to 7.848 and 'Mass per Unit Volume' set to 0.8003. The 'Units' dropdown is set to 'KN, m, C'. The 'Isotropic Property Data' section has 'Modulus Of Elasticity, E' set to 8600000, 'Poisson, U' set to 0.3, 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' set to 1.170E-05, and 'Shear Modulus, G' set to 3307692. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' which is unchecked, and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fuente: Propia

Para definir las secciones transversales del material en SAP2000 se utiliza una sección transversal tubular lineal y homogéneo, sin tener en cuenta los nudos por recomendación de [15], estos parámetros se pueden ver en la *Imagen 8: Creación de Sección Transversal Guadua de 8cm en SAP2000*.

Imagen 8: Creación de Sección Transversal Guadua de 8cm en SAP2000



Fuente: Propia

Definición de cargas

Debido a que se hará la modelación individual de los elementos que componen la ventana (marco principal y hoja basculante), se calcula el peso de los componentes de la hoja basculante como se observa en la *Tabla 28: Carga producida por la hoja*; y el peso del vidrio principal como se muestra en la *Tabla 29: Carga producida por el vidrio principal*, estas cargas se ejercen en la fibra inferior del marco principal.

Tabla 28: Carga producida por la hoja

ELEMENTO	CANTIDAD	PESO ESPECIFICO N/m3	DIAMETRO m	ALTURA m	ESPESOR m	AREA m ²	CARGA N/m
VERTICALES	2	7848	0.06	-	0.008	0.001	10.257
HORIZONTALES	2	7848	0.06	-	0.008	0.001	10.257
VIDRIO	1	24525		0.92	0.004	0.004	90.252
CARGA TOTAL LA HOJA							110.765

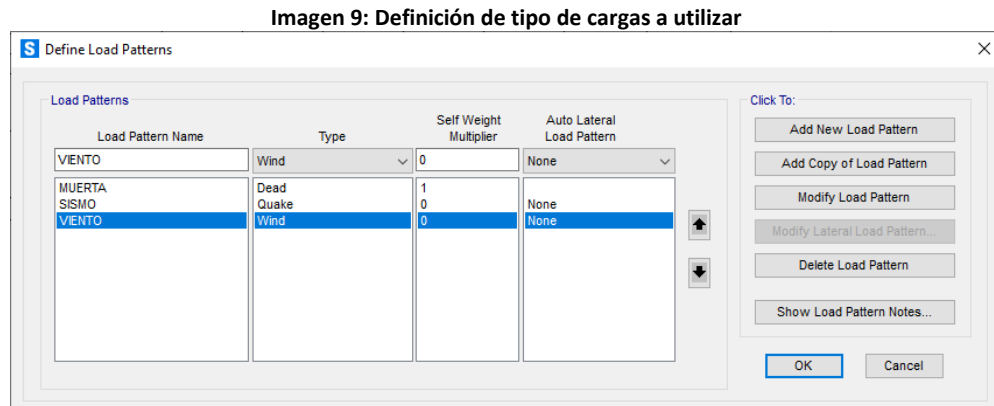
Fuente: Propia

Tabla 29: Carga producida por el vidrio principal

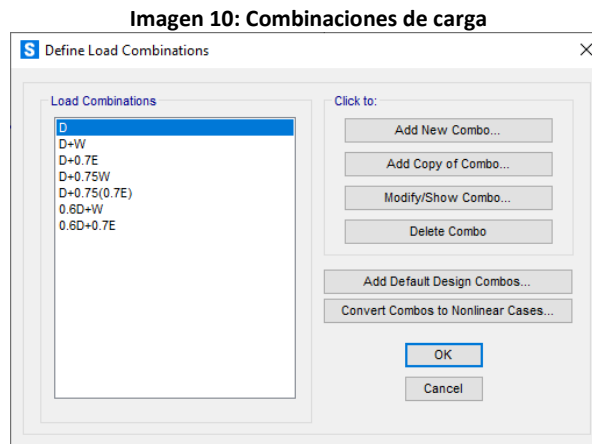
ELEMENTO	PESO ESPECIFICO N/m3	ALTURA m	ESPESOR m	AREA m ²	CARGA N/m
VIDRIO PRINCIPAL	24525	1.04	0.004	0.0042	102.024

Fuente: Propia

Como se menciona anteriormente se trabajará con tres tipos de cargas, estas se parametrizan como se observa en la *Imagen 9: Definición de tipo de cargas a utilizar*, y las combinaciones de cargas a utilizar en softwares definidas anteriormente se muestran en la *Imagen 10: Combinaciones de carga*.



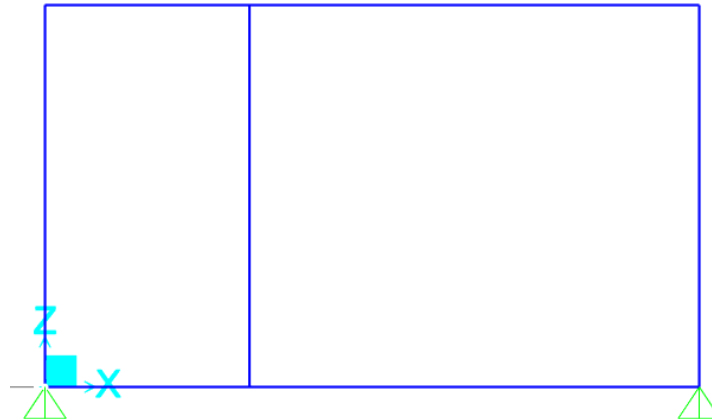
Fuente: Propia



Fuente: Propia

Para la parametrización del modelo digital se colocan dos apoyos sencillos en los extremos inferiores del marco de la ventana donde este estará apoyado en el vano del muro, como se observa en la *Ilustración 19: Definición de apoyos marco principal*.

Ilustración 19: Definición de apoyos marco principal



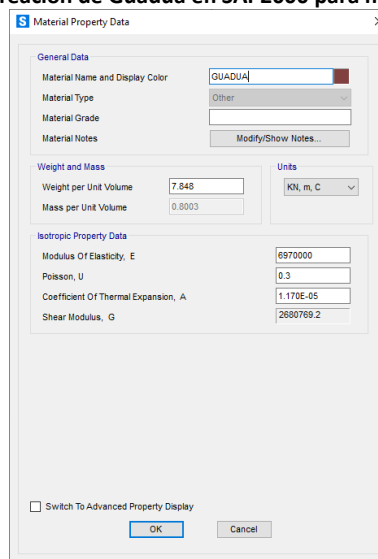
Fuente: Propia

9.1.12.2. Simulación hoja basculante

Definición de materiales

Para la modelación de la hoja basculante se debe parametrizar el programa ya que como se menciona anteriormente el material no se encuentra en este software, los parámetros ya calculados para este elemento, como el módulo de elasticidad y el peso específico establecido por [15] se muestran en la *Imagen 11: Creación de Guadua en SAP2000 para modelación hoja*.

Imagen 11: Creación de Guadua en SAP2000 para modelación hoja

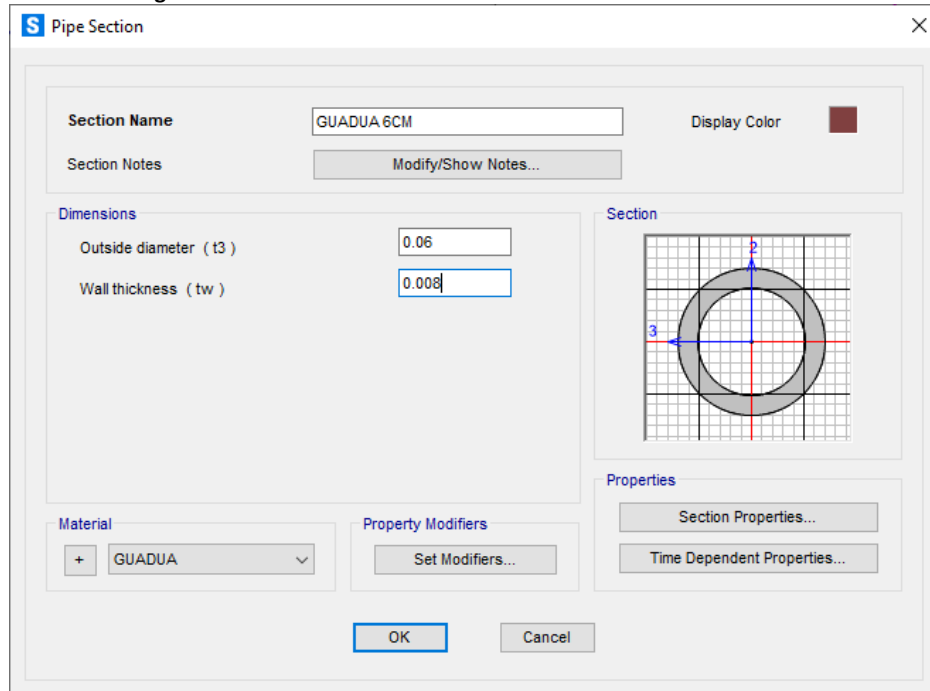


Fuente: Propia

Para definir las secciones transversales del material en SAP2000 se utiliza una sección transversal tubular lineal y homogéneo, sin tener en cuenta los nudos por

recomendación de [15], estos parámetros se pueden ver en la *Imagen 11: Creación de Guadua en SAP2000 para modelación hoja*.

Imagen 12: Creación de Sección Transversal Guadua de 6cm en SAP2000



Fuente: Propia

Definición de cargas

Como se mencionó anteriormente se hace el cálculo de la carga ejercida por el vidrio en la hoja basculante del prototipo como se muestra en la *Tabla 30: Carga producida por el vidrio en la hoja*.

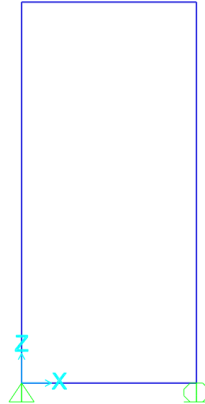
Tabla 30: Carga producida por el vidrio en la hoja

ELEMENTO	PESO ESPECIFICO N/m ³	ALTURA m	ESPESOR m	AREA m ²	CARGA N/m
VIDRIO HOJA	24525	0.88	0.004	0.0035	86.328

Fuente: Propia

Los parámetros y combinaciones de carga a utilizar en esta simulación son iguales a la modelación del marco principal. En la parametrización de los apoyos en este caso se utilizará un apoyo simple donde estará anclada la hoja al marco principal y un apoyo articulado en la parte inferior indicando que tiene libre movimiento como se puede observar en la *Ilustración 20: Definición de apoyos marco hoja*.

Ilustración 20: Definición de apoyos marco hoja



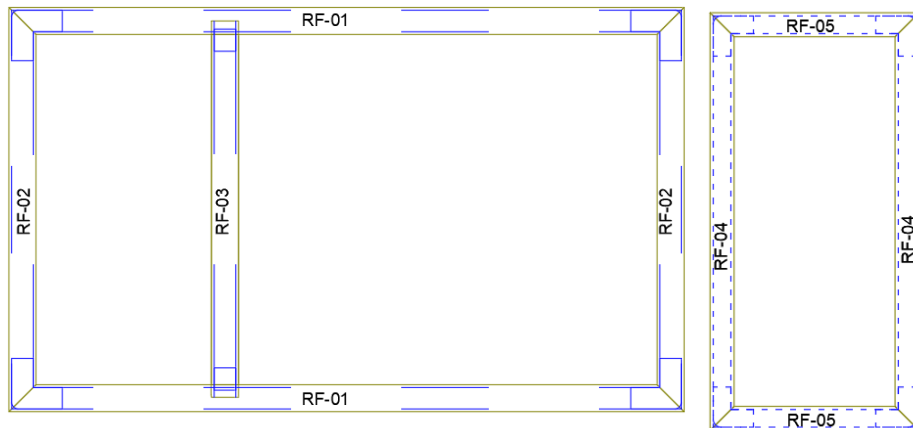
Fuente: Propia

9.2. FASE II: EJECUCION Y EVALUACION

En esta fase se realiza el proceso Constructivo de la muestra de ventana donde se especifican los pasos necesarios para la creación de la muestra y así elaborar la cartilla constructiva de este prototipo.

Inicialmente se realizó la optimización del material para ello fue necesario referenciar las piezas que componen la ventana con el fin de identificar la longitud real y el tipo de corte que se debe realizar como se observa en la *Ilustración 21 Referencias de Ventana* luego se cuantifica y se agrupan las referencias necesarias como se evidencia en la *Tabla 31 Optimización de Material*.

Ilustración 21 Referencias de Ventana



Fuente: Propia

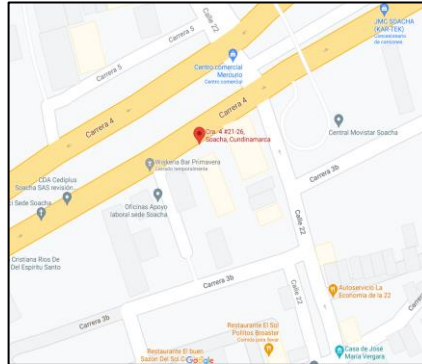
Tabla 31 Optimización de Material

ID	DESCRIPCION	Cant	Long (mm)	Corte
RF-01	Culmo Guadua 80 mm en vertical	2	2000	45°-45°
RF-02	Culmo Guadua 80 mm en Horizontal	2	1200	45°-45°
RF-03	Culmo Guadua 80 mm en Vertical	1	1170	90°-90°
Se requieren 5 Und de Guadua 80 mm de 2000 mm				
ID	DESCRIPCION	Cant	Long (mm)	Corte
RF-04	Culmo Guadua 60 mm en vertical	2	1040	45°-45°
RF-05	Culmo Guadua 60 mm en Horizontal	2	520	45°-45°
Se requieren 2 Und de Guadua 60 mm de 2000 mm				

Fuente: Propia

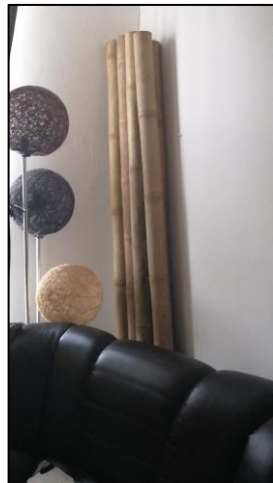
Continuando con el proceso de fabricación se compra la cantidades de Culmos especificadas en la optimización evidenciada en la *Tabla 31 Optimización de Material*, la cual se realiza en la Guadua en AGB “Arme Guadua & Bambú” localizado en la Carrera 4# 21-26 Soacha como se evidencia en la *Imagen 13 Localización Arme Guada &* , luego se almacena mientras se realiza la búsqueda del taller como se evidencia en la *Imagen 14 Almacenamiento de Guadua*.

Imagen 13 Localización Arme Guada & Bambú



Fuente: Google Maps

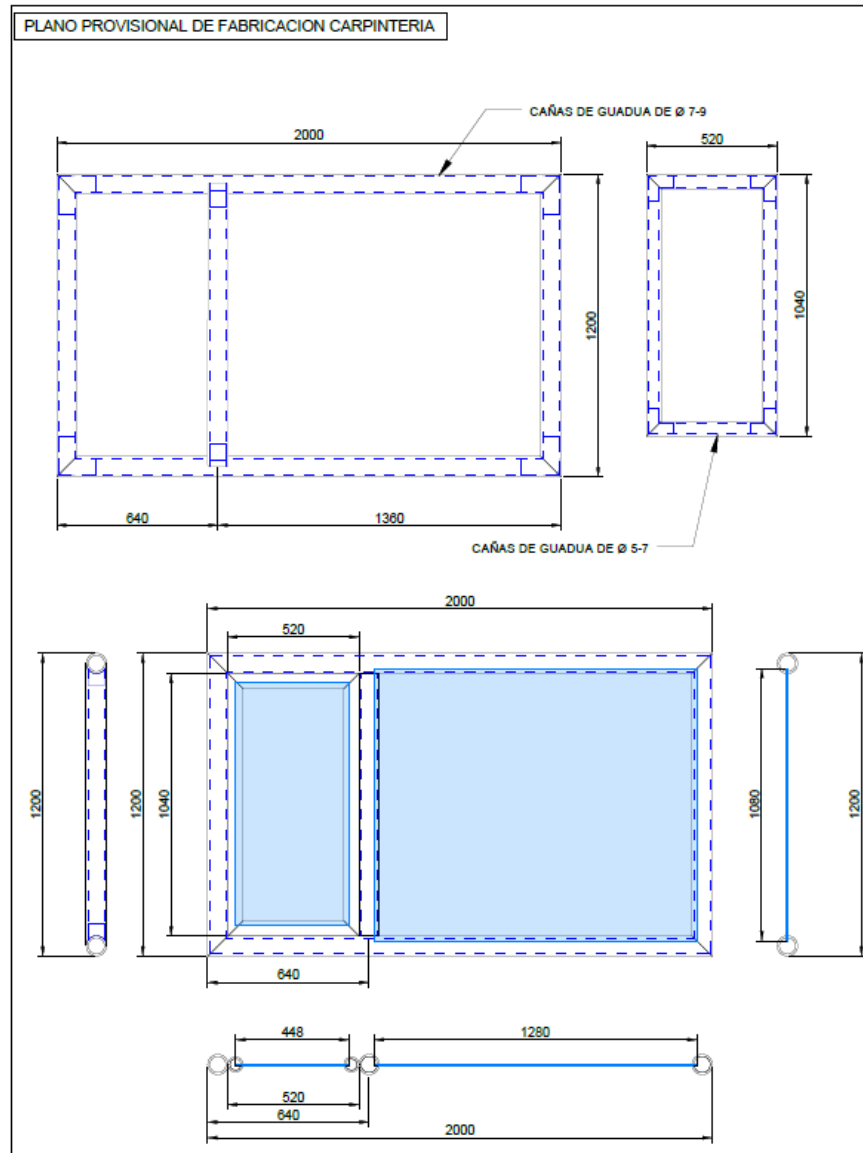
Imagen 14 Almacenamiento de Guadua



Fuente: Propia

Luego se realiza un plano Provisional de fabricación que permita identificar el ensamblaje de cada una de las piezas como se observa en la *Ilustración 22 Plano Provisional de Fabricación*.

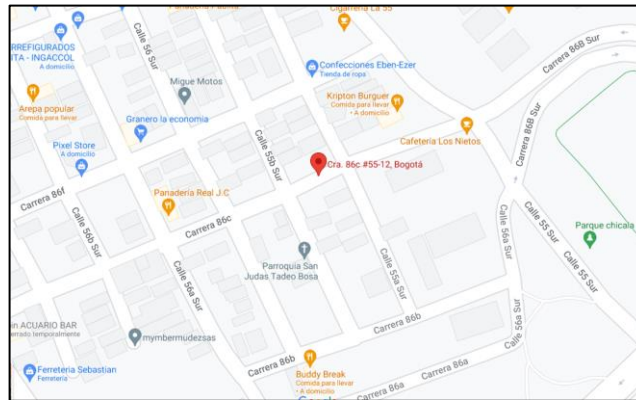
Ilustración 22 Plano Provisional de Fabricación



Fuente: Propia

Una vez realizada la compra se envía el material al taller ubicado en Bosa la libertad como se muestra *Imagen 15 Ubicación Taller de Fabricación*; en la de carpintería donde tuvieran las herramientas necesarias para realizar cortes y generar las piezas necesarias de unión.

Imagen 15 Ubicación Taller de Fabricación



Fuente: Google Maps

Se general los cortes de Guadua como se indican en la *Tabla 31 Optimización de Material*, sin embargo, para lograr esto el Carpintero debe tener en cuenta lo siguiente:

- Las uniones debían generarse lo más limpias posibles debido a que es un elemento que es a la vista por ende no era posible utilizar tornillos pasantes ni elementos metálicos que pudieran saltar a la vista, por ello se realizaron Escuadras redondas a partir de madera inmunizada, la cual se usó para unir las referencias con corte a 45° como se observa en la *Imagen 16 Uniones Pico flauta 45°*.

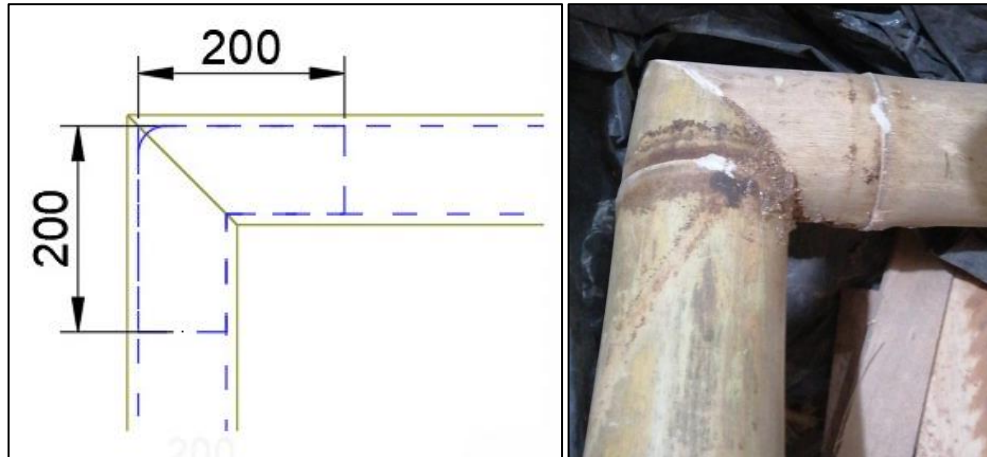
Imagen 16 Uniones Pico flauta 45°



Fuente: Propia

En la *Imagen 17 Esquema Escuadras madera Inmunizada 200x200* puede evidenciar el taco de unión insertado en culmos de 80mm, donde se realizó la fijación de un elemento horizontal y otro vertical cortados a 45°.

Imagen 17 Esquema Escuadras madera Inmunizada 200x200



Fuente: Propia

- De Igual forma el montaje del elemento central se le realizo como una unión boca de pescado como se observa en la *Imagen 18 Unión Boca de Pescado*, la cual se fijó con taco de madera inmerso en la guadua atornillados en la parte inferior y sellado con pegamento de madera.

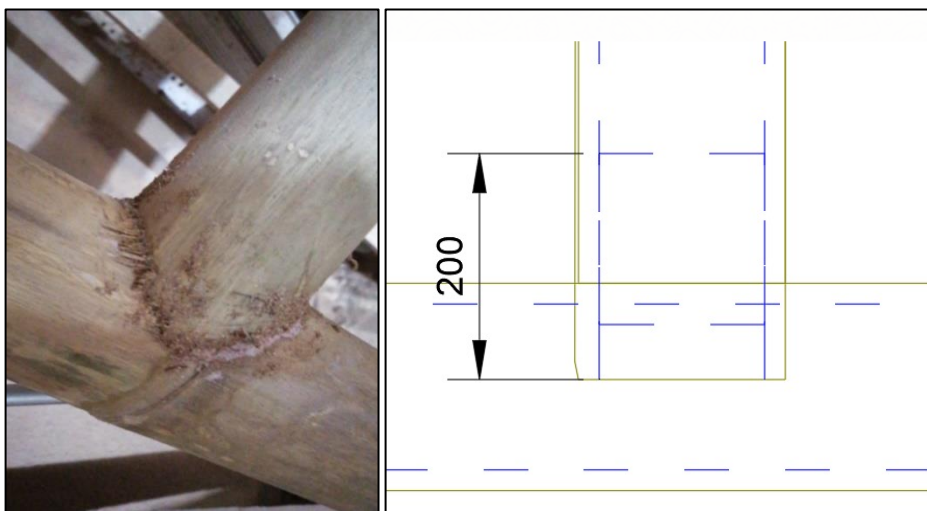
Imagen 18 Unión Boca de Pescado



Fuente: Propia

En la *Imagen 19 Detalle Union Boca Pescado* se evidencia el taco de 200 mm inmunizado fijado en la parte inferior del marco general con un tornillo Pasante.

Imagen 19 Detalle Union Boca Pescado



Fuente: Propia

Una vez se tienen en cuenta estos criterios de unión se fabrica tanto el marco general como el marco del basculante como se observa en la *Imagen 20 Armado Marco General* y en la *Imagen 21 Armado Marco de Basculante*

Imagen 20 Armado Marco General



Fuente: Propia.

Imagen 21 Armado Marco de Basculante



Fuente: Propia

Se instala el pisa vidrio en esterillas de guadua como se observa en *Imagen 22 Instalacion de Pisa Vidrio* las cuales se colocan con puntillas inoxidables cada 300mm, tanto en el marco general como en el marco del basculante.

Imagen 22 Instalacion de Pisa Vidrio



Fuente: Propia

Posterior se instala el pivote superior e inferior que permita la apertura de la hoja como se observe en la *Imagen 23 Instalacion Pivote Superior e Inferior*.

Imagen 23 Instalacion Pivote Superior e Inferior



Fuente: Propia

Debido a la precisión con la cual debe ser realizado el corte del vidrio se decidió llevarla a la empresa de vidrio Districristales JL localizada en el barrio Britalia de la localidad de Kennedy como se observa en la *Imagen 24 Ubicacion Districristales JL*, allí se suministró, se cortó y se instaló el vidrio de 4mm como se observa en la *Imagen 25 Instalacion vidrio Fijo y Vidrio de la Hoja*.

Imagen 24 Ubicacion Districristales JL



Fuente: Google Maps

Imagen 25 Instalacion vidrio Fijo y Vidrio de la Hoja



Fuente: Propia

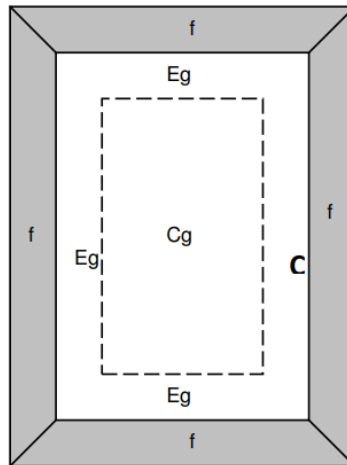
9.2.1. DETERMINACION DE PROPIEDADES TERMICAS

Para la evaluación de las propiedades térmicas se utilizó el método teórico establecido en [28] para obtener el valor de la carga térmica y el coeficiente de transferencia de calor ofrecida por la ventana objeto de esta investigación; para esto se establece los siguientes parámetros como base para este cálculo, estos parten de datos de temperatura y humedad relativa reales de la ciudad de Bogotá según [29] para el día 21 de Julio debido que son condiciones extremas según el método de [28] y temperatura de confort establecida por este mismo manual.

- Temperatura promedio exterior: 13°C
- Humedad relativa: 77%
- Temperatura de confort: para la temperatura confort [28] establece que esta varía entre los 22.2°C y los 26.6°C por lo que se tomara el valor mínimo 22°C.

9.2.1.1. Coeficiente global de transferencia de calor U en ventanas

Ilustración 23: Diagrama de regiones de una ventana



Fuente: (Ramírez León, H; 2007)

Según [30] las trayectorias de transferencia de calor de una ventana tienen una contribución de las 3 regiones que componen la ventana (Marco, Borde del cristal y Centro del cristal) como se observa en la *Ilustración 23: Diagrama de regiones de una ventana*, por lo tanto el valor del coeficiente de transferencia de calor (U) en la ventana se calcula mediante la

Ecuación 55: Factor global de transferencia de Calor

$$U_0 = \frac{U_{cg}A_{cg} + U_{eg}A_{eg} + U_fA_f}{A_{pf}}$$

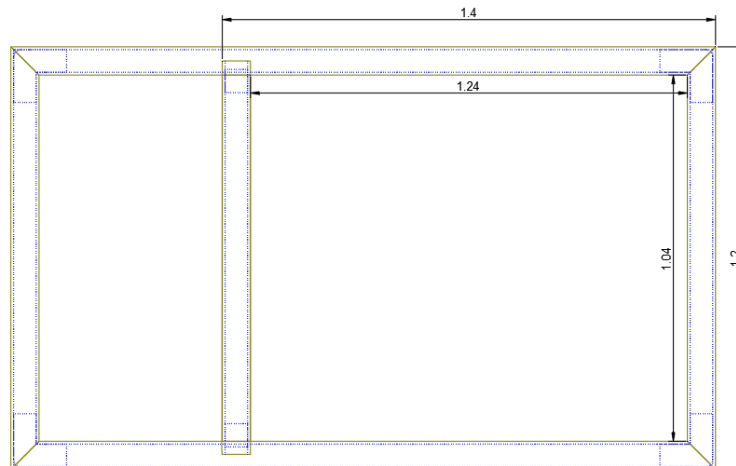
Fuente: (Ramírez León, H; 2007)

Donde:

- U_0 : Coeficiente global de transferencia de calor.
- U_{cg} : Coeficiente de transferencia de calor del centro del cristal.
- A_{cg} : Área del centro del cristal.
- U_{eg} : Coeficiente de transferencia de calor del borde del cristal.
- A_{eg} : Área del borde del cristal.
- U_f : Coeficiente de transferencia de calor del marco.
- A_f : Área del marco.
- A_{pf} : Área total de la ventana.

Calculo de áreas ventana principal

Ilustración 24: Dimensiones ventana principal



Fuente: Propia

Teniendo las dimensiones del marco y del cristal como se observa en la *Ilustración 24: Dimensiones ventana principal* se procede al cálculo de las áreas correspondientes (A_{cg} , A_{eg} , A_f , A_{pf}), para el marco principal teniendo en cuenta que el borde del cristal tiene un ancho de 6.5cm alrededor de este.

Ecuación 56: Área del marco principal

$$A_{pf} = (1.4 * 1.2) = 1.68m^2$$

Fuente: Propia

El área total de la ventana se calcula teniendo en cuenta el ancho y la altura dando como resultado $1.68m^2$, para el cálculo de las áreas del cristal se hace un cálculo del área total de este el cual da como resultado $1.29m^2$ ($1.04m \times 1.24m$) por lo tanto, los resultados de las áreas del cristal serán:

Ecuación 57: Área del centro del cristal principal

$$A_{cg} = (1.24 - (2 * 0.065)) * (1.04 - (2 * 0.065)) = 1.01m^2$$

Fuente: Propia

Ecuación 58: Área del borde del cristal principal

$$A_{eg} = 1.29 - 1.01 = 0.28m^2$$

Fuente: Propia

Para el cálculo del área del marco al área total de la ventana se le resta el área total del cristal dando como resultado:

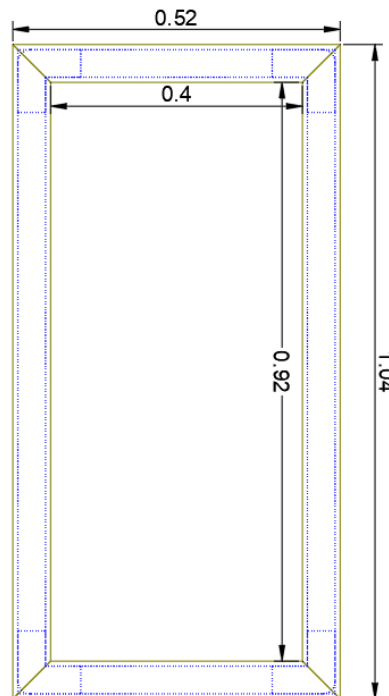
Ecuación 59: Área total de la ventana principal

$$A_f = 1.68 - 1.29 = 0.39m^2$$

Fuente: Propia

Calculo de áreas ventana hoja basculante

Ilustración 25: Dimensiones ventana hoja basculante



Fuente: Propia

Teniendo las dimensiones del marco y del cristal como se observa en la *Ilustración 25: Dimensiones ventana hoja basculante* se procede al cálculo de las áreas correspondientes (A_{cg} , A_{eg} , A_f , A_{pf}), para la hoja basculante teniendo en cuenta que el borde del cristal tiene un ancho de 6.5cm alrededor de este como es mencionado anteriormente.

Ecuación 60: Área del marco hoja basculante

$$A_{pf} = (0.52 * 1.04) = 0.54m^2$$

Fuente: Propia

Para el cálculo de las áreas del cristal se hace un cálculo del área total de este el cual da como resultado 0.37m² (0.4mX0.92m) por lo tanto, los resultados de las áreas del cristal serán:

Ecuación 61: Área del centro del cristal hoja basculante

$$A_{cg} = (0.4 - (2 * 0.065)) * (0.92 - (2 * 0.065)) = 0.21m^2$$

Fuente: Propia

Ecuación 62: Área del borde del cristal hoja basculante

$$A_{eg} = 0.37 - 0.21 = 0.16m^2$$

Fuente: Propia

Para el cálculo del área del marco al área total de la ventana se le resta el área total del cristal dando como resultado:

Ecuación 63: Área del centro del cristal hoja basculante

$$A_f = 0.54 - 0.37 = 0.17m^2$$

Fuente: Propia

Coeficientes de transferencia de calor

Los coeficientes U_{cg}, U_{eg} y U_f estarán dados por la *Tabla 32: Coeficientes de transferencia de calor U*, la cual está dada en [28] y determina estos coeficientes en función del material.

Tabla 32: Coeficientes de transferencia de calor U

Table 4 U-Factors for Various Fenestration Products in W/(m²·K)

Product Type	Glass Only		Vertical Installation							
			Operable (including sliding and swinging glass doors)					Fixed		
			Aluminum without Thermal Break	Aluminum with Thermal Break	Aluminum Reinforced Vinyl/Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	Aluminum without Thermal Break	Aluminum with Thermal Break	Aluminum Reinforced Vinyl/Clad Wood
Frame Type ID Glazing Type	Center of Glass	Edge of Glass								Insulated Fiberglass/Vinyl
Single Glazing										
1 3.2 mm glass	5.01	5.01	7.4	6.12	5.14	5.05	4.61	6.42	6.07	5.55
2 6.4 mm acrylic/polycarb	5.00	5.00	6.49	5.43	4.51	4.42	4.01	5.60	5.25	4.75
3 3.2 mm acrylic/polycarb	5.45	5.45	6.87	5.77	4.82	4.73	4.31	6.01	5.66	5.15
Double Glazing										
4 6.4 mm airspace	3.12	3.63	4.93	3.70	3.25	3.13	2.77	3.94	3.56	3.19
5 12.7 mm airspace	2.73	3.36	4.62	3.42	3.00	2.87	2.53	3.61	3.22	2.86
6 6.4 mm argon space	2.90	3.48	4.75	3.54	3.11	2.98	2.63	3.75	3.37	3.00
7 12.7 mm argon space	2.56	3.24	4.49	3.30	2.89	2.76	2.42	3.47	3.08	2.73
Double Glazing, e = 0.60 on surface 2 or 3										
8 6.4 mm airspace	2.95	3.52	4.80	3.58	3.14	3.02	2.67	3.80	3.41	3.05
9 12.7 mm airspace	2.50	3.20	4.45	3.26	2.85	2.73	2.39	3.42	3.03	2.68
10 6.4 mm argon space	2.67	3.32	4.58	3.38	2.96	2.84	2.49	3.56	3.17	2.82
11 12.7 mm argon space	2.33	3.08	4.31	3.13	2.74	2.62	2.28	3.28	2.89	2.54
Double Glazing, e = 0.40 on surface 2 or 3										
12 6.4 mm airspace	2.78	3.40	4.66	3.46	3.03	2.91	2.56	3.66	3.27	2.91
13 12.7 mm airspace	2.27	3.04	4.27	3.09	2.70	2.58	2.25	3.23	2.84	2.49
14 6.4 mm argon space	2.44	3.16	4.40	3.21	2.81	2.69	2.35	3.37	2.98	2.63
15 12.7 mm argon space	2.04	2.88	4.09	2.93	2.55	2.43	2.10	3.04	2.65	2.31

Fuente: Tabla 4 Cap 31 - ASHRAE 2005

Teniendo en cuenta que el material del marco de nuestra ventana es guadua se tomara como $U_f=5.05$, ya que el espesor de nuestro cristal es de 4mm se tomara los valores del espesor más cercano que en este caso será 3.2mm, por lo tanto, $U_{cg}=5.91$ y $U_{eg}=5.91$.

Ya con los valores de cada uno de los factores de la *Ecuación 55: Factor global de transferencia de Calor* se procede a remplazarlos, dando como resultados:

- Coeficiente global de transferencia de calor ventana principal:

$$U_0 = \frac{\text{Ecuación 64: Factor global de transferencia de Calor ventana principal} \\ 5.91 * 1.01 + 5.91 * 0.28 + 5.05 * 0.39}{1.68} = 5.71 \text{ W/m}^2 * ^\circ\text{C}$$

Fuente: Propia

- Coeficiente global de transferencia de calor hoja basculante:

$$U_0 = \frac{\text{Ecuación 65: Factor global de transferencia de Calor hoja basculante} \\ 5.91 * 0.21 + 5.91 * 0.16 + 5.05 * 0.17}{0.54} = 5.63 \text{ W/m}^2 * ^\circ\text{C}$$

Fuente: Propia

9.2.1.2. Carga térmica

Para calcular la carga térmica producida por la ventana se utilizara la metodología de [28], la cual contempla lo siguiente:

$$\text{Carga termica ventanas} = \text{Cargas por conducción} + \text{Cargas por radiación}$$

Cargas térmicas por conducción

Para el cálculo de la carga térmica por conducción [30] establece la *Ecuación 66: Cargas por conducción*.

Ecuación 66: Cargas por conducción

$$q_c = U * A * CLDT_c$$

Fuente: (Ramírez León, H; 2007)

Donde:

- q_c : Cargas por conducción.
- U : Coeficiente global de transferencia de calor.
- A : Área de la ventana en m^2 .
- $CLDT_c$: Factor de diferencia de temperatura de carga de refrigeración corregido.

Factor de cálculo de temperatura de carga de refrigeración corregido (CLDT_c)

Para el cálculo de este factor [30] define la *Ecuación 67: Factor CLDT_c*.

Ecuación 67: Factor CLDT_c

$$CLDT_c = CLDT + (25.6 - T_r) + (T_0 - 29.4)$$

Fuente: (Ramírez León, H; 2007)

Donde:

- CLDT_c: Factor de diferencia de temperatura de carga de refrigeración corregido.
- CLDT: Factor de diferencia de temperatura de carga de refrigeración.
- Tr: Temperatura de confort.
- T0: Temperatura promedio exterior.

Teniendo en cuenta que el valor del factor CLDT está en función de hora según [28], se toma el valor del medio día ya que es una condición crítica en torno de temperatura, por lo tanto según la *Tabla 33: Factor de diferencia de temperatura CLDT* el valor de CLDT será de 9°F haciendo la conversión se tendrían -12.8°C.

Tabla 33: Factor de diferencia de temperatura CLDT

Hour	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
CLDT, F	0	-2	-2	0	4	9	13	14	12	8	4	2

Fuente: Tabla 9 Cap 25 - ASHRAE 2005

Teniendo los valores de cada uno de los elementos de la *Ecuación 67: Factor CLDT_c*, se remplazan obteniendo:

Ecuación 68: Factor CLDT_c obtenido

$$CLDT_c = -12.8 + (25.6 - 22) + (13 - 29.4) = -25.6^{\circ}\text{C}$$

Fuente: Propia

Ya teniendo todos los factores se procede a remplazar los factores en la *Ecuación 66: Cargas por conducción* teniendo los siguientes resultados:

- Cargas por conducción ventana principal:

Ecuación 69: Cargas por conducción ventana principal

$$q_c = 5.71 * 1.68 * (-25.6) = -245.58 \text{ W}$$

Fuente: Propia

- Cargas por conducción ventana hoja basculante:

Ecuación 70: Cargas por conducción ventana hoja basculante

$$q_c = 5.62 * 0.54 * (-25.6) = -77.69 \text{ W}$$

Fuente: Propia

Cargas térmicas por radiación

Para el cálculo de las cargas térmicas se utilizará la *Ecuación 71: Cargas por Radiación* según [30].

Ecuación 71: Cargas por Radiación

$$q_s = A * SC * SHGF * CLF$$

Fuente: (Ramírez León, H; 2007)

Donde:

- q_s : Cargas por radiación.
- SC: Coeficiente de sombreado para vidrio.
- SHGF: Factor de ganancia de calor solar.
- CLF: Factor de carga para enfriamiento de vidrios.

Coeficiente de sombreado para vidrio (SC)

Este coeficiente estará dado por la *Tabla 34: Coeficiente SC*, este depende de las especificaciones del vidrio teniendo en cuenta que este tiene 4mm se toma el valor más cercano que en este caso será 1/8in (3.2mm). por lo tanto, el valor de SC será 1.

Tabla 34: Coeficiente SC
Table 28 Shading Coefficients for Single Glass and Insulating Glass^a

A. Single Glass				
Type of Glass	Nominal Thickness ^b	Solar Trans. ^b	Shading Coefficient	
			$h_o=4.0$	$h_o=3.0$
Clear	1/8 in.	0.84	1.00	1.00
	1/4 in.	0.78	0.94	0.95
	3/8 in.	0.72	0.90	0.92
	1/2 in.	0.67	0.87	0.88
Heat Absorbing	1/8 in.	0.64	0.83	0.85
	1/4 in.	0.46	0.69	0.73
	3/8 in.	0.33	0.60	0.64
	1/2 in.	0.24	0.53	0.58
B. Insulating Glass				
Clear Out, Clear In	1/8 in. ^c	0.71 ^c	0.88	0.88
Clear Out, Clear In	1/4 in.	0.61	0.81	0.82
Heat Absorbing ^d Out, Clear In	1/4 in.	0.36	0.55	0.58

^aRefers to factory-fabricated units with 3/16, 1/4, or 1/2-in. air space or to prime windows plus storm sash.

^bRefer to manufacturer's literature for values.

^cThickness of each pane of glass, not thickness of assembled unit.

^dRefers to gray, bronze, and green tinted heat-absorbing float glass.

^eCombined transmittance for assembled unit.

Fuente: Tabla 28 Cap 26 - ASHRAE 2005

Factor de ganancia solar (SHGF)

Para [30] este factor está determinado por la latitud, orientación y mes del cálculo; en este caso la latitud de Bogotá es de 4°N por lo que se tomara el valor más cercano establecido en [28] que es 0°, se tomara el mes de julio como se mencionó anteriormente.

Tabla 35: Factor SHGF

Table 10 Maximum Solar Heat Gain Factors Btu/(h·ft ²)												
	0°N Latitude						8°N Latitude					
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR
Jan.	34	88	234	235	118	296	32	71	224	242	162	275
Feb.	36	132	245	210	67	306	34	114	239	219	110	294
Mar.	38	170	242	170	38	303	37	156	241	184	55	300
Apr.	71	193	221	118	37	284	44	184	225	134	39	289
May	113	203	201	80	37	265	74	198	209	97	38	277
June	129	206	190	65	37	255	90	200	200	82	39	269
July	115	201	195	77	38	260	77	195	204	93	39	272
Aug.	75	187	212	112	38	276	47	179	216	128	41	282
Sep.	40	163	231	163	40	293	38	149	230	176	56	290
Oct.	37	129	236	202	66	299	35	112	231	211	108	288
Nov.	35	88	230	230	117	293	33	71	220	238	160	273
Dec.	34	71	226	241	138	288	31	54	215	247	180	264

Fuente: Tabla 10 Cap 25 - ASHRAE 2005

Según *Tabla 35: Factor SHGF* el valor establecido para el factor SHGF es 115BTU/h*ft², haciendo la conversión se tomará 362.8 W/m².

Factor de carga de enfriamiento (CL)

El valor de este factor se evidencia en la *Tabla 36: Factor CL*, el cual depende de la orientación que en este caso será Norte (N), la hora que anteriormente se definió como 12:00 m y el tipo de construcción, que según los parámetros de [28] es una construcción media (M); por lo anterior nombrado CL será 0.70.

Tabla 36: Factor CL

N. Latitude Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, hr																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.80	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.21	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.52	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
NE	L	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.73	0.72	0.70	0.70	0.74	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
	M	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
SE	L	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	M	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
S	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.51	0.42	0.36	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.45	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
SW	L	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.21	0.34	0.45	0.50	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
	M	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
W	L	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.55	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	M	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NW	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.13	0.14	0.23	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
HOR	L	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.38	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
	M	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
L	L	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	M	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
M	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.28	0.40	0.56	0.66	0.58	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
H	L	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
	M	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.43	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
N	L	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.53	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	M	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15	
SW	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.30	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.55	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
W	L	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.27	0.36	0.45	0.52	0.59	0.62	0.64	0.62	0.58	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19
	M																								

L=Light construction: frame exterior wall, 2-in. concrete floor slab, approximately 30 lb of material/square feet of floor area.
M=Medium construction: 4-in. concrete exterior wall, 4-in. concrete floor slab, approximately 70 lb of building material/square feet of floor area.
H=Heavy construction: 6-in. concrete exterior wall, 6-in. concrete floor slab, approximately 130 lb of building materials/square feet of floor area.

Fuente: Tabla 11 Cap 25 - ASHRAE 2005

Teniendo todos los parámetros de la *Ecuación 71: Cargas por Radiación*, se rempazan obteniendo los siguientes resultados:

- Carga por radiación solar ventana principal:

Ecuación 72: Cargas por Radiación ventana principal

$$q_s = 1.68 * 1 * 362.8 * 0.70 = 426.65W$$

Fuente: Propia

- Carga por radiación solar ventana hoja basculante:

Ecuación 73: Cargas por Radiación ventana hoja basculante

$$q_s = 0.54 * 1 * 362.8 * 0.70 = 137.14W$$

Fuente: Propia

Teniendo los dos tipos de cargas actuantes en la ventana se procede al cálculo de la carga térmica de la ventana dando los siguientes resultados:

- Carga térmica ventana principal:

Ecuación 74: Cargas térmica ventana principal

$$q = -245.58 + 426.65 = 181.07W$$

Fuente: Propia

- Carga térmica ventana hoja basculante

Ecuación 75: Cargas térmica ventana hoja basculante

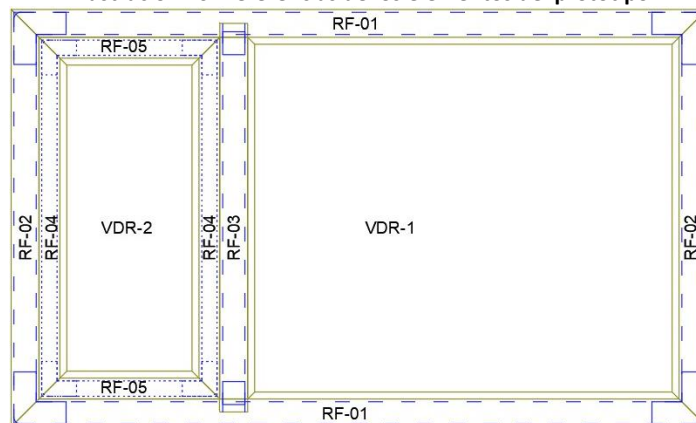
$$q = -77.69 + 181.07 = 103.38W$$

Fuente: Propia

9.2.2. COMPARACION DE PRESUPUESTO

En este documento se pretende evaluar la rentabilidad económica que ofrece el prototipo de marco para ventana en guadua *Angustifolia Kunth* por lo tanto se pidió una cotización por metro cuadrado de una ventana en aluminio, la cual se puede observar en el Anexo 2.

Ilustración 26: Referencias de los elementos del prototipo



Fuente: Propia

Para sacar el presupuesto de la fabricación de este prototipo se inicia por el cálculo total de los materiales empleados, esto se muestra en la *Tabla 37: Elementos usados*, para tener más claridad se le asigna una referencia a cada elemento como se especifica en la *Ilustración 26: Referencias de los elementos del prototipo*.

Tabla 37: Elementos usados

Ref.	Cant.	Descripcion	Unidad	Medida
RF-01	2	Culmo de 80 mm de diametro en vertical	m	2
RF-02	2	Culmo de 80 mm de diametro en horizontal	m	2
RF-03	1	Culmo de 80 mm de diametro en vertical	m	1.17
RF-04	2	Culmo de 60 mm de diametro en vertical	m	1.04
RF-05	2	Culmo de 60 mm de diametro en horizontal	m	0.52
VDR-1	1	Vidrio de 1.24X1.04 de 4mm de espesor	m ²	1.29
VDR-2	1	Vidrio de 0.4X0.92 de 4mm de espesor	m ²	0.37

Fuente: Propia

Ya teniendo la cantidad de elementos utilizados en la fabricación del prototipo se saca un presupuesto por m² de ventana teniendo en cuenta los precios de los materiales usados y el área total de la ventana que en este caso será de 2.4 m². El presupuesto total y por metros cuadrado se puede ver en *Tabla 38: Presupuesto Ventana de Guadua*.

Tabla 38: Presupuesto Ventana de Guadua

Elemento	Unidad	Cant	Valor Unitario	Valor Total
Culmo de guadua de 80mm de diametro y 2m de longitud	m	5	\$ 8,000	\$ 40,000
Culmo de guadua de 60mm de diametro y 2m de longitud	m	2	\$ 8,000	\$ 16,000
Vidrio 4mm de espesor con instalación	m ²	1.66	\$ 62,750	\$ 104,000
Mano de obra, incluye armado y elementos de unión	GL	1	\$ 170,000	\$ 170,000
Total				\$ 330,000
Valor por metro cuadrado				\$ 137,500

Fuente: Propia

Según la cotización el valor de metro cuadrado de marco en aluminio será de \$63.250 pesos por lo que el presupuesto de la ventana en aluminio para vivienda de interés social se muestra en la *Tabla 39: Presupuesto Ventana de Aluminio*.

Tabla 39: Presupuesto Ventana de Aluminio

Elemento	Unidad	Cant	Valor Unitario	Valor Total
Marco para ventana en aluminio para vivienda VIS	m ²	2.40	\$ 63,250	\$ 151,800
Vidrio 4mm de espesor con instalación	m ²	1.66	\$ 62,750	\$ 104,000
Mano de obra, incluye armado y elementos de unión	GL	1	\$ 170,000	\$ 170,000
Total				\$ 425,800
Valor por metro cuadrado				\$ 177,417

Fuente: Propia

9.3. FASE III: RESULTADOS

En esta fase se realizó una cartilla constructiva la cual especifica los materiales empleados, las dimensiones del prototipo objeto de este documento y el proceso constructivo, Esta carilla se puede observar en el Anexo 3.

10. ANALISIS DE RESULTADOS

10.1. ANALISIS RESULTADOS SAP200

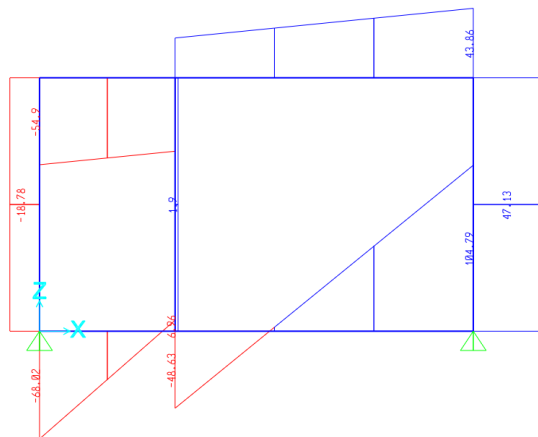
Teniendo en cuenta que de las combinaciones de carga utilizadas la que da mayor valor será la combinación D+0.7E se partirá de esta para hacer el análisis de los resultados obtenidos en la modelación en el software SAP2000.

10.1.1. ANALISIS MARCO PRINCIPAL

10.1.1.1. Cortante marco principal

Según se observa en la *Ilustración 27: Resultados de cortante marco principal* el mayor valor de cortante es de 104.79 N, el cual se localiza en la fibra inferior derecha de este y es generado por la carga ejercida por el vidrio que se encuentra en esta zona y el peso propio del marco.

Ilustración 27: Resultados de cortante marco principal



Fuente: Propia

Análisis de diseño a cortante paralelo a la fibra marco principal

Teniendo lo anterior se hace la evaluación del cortante paralelo a las fibras de la dando como resultado q cumple con las especificaciones dadas por [15], este cálculo se hace de la siguiente manera:

Ecuación 76: Evaluación de cortante paralelo a las fibras marco principal

$$F_v = \frac{2 * 104.79}{5430} * 3.65 \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

$$0.1408 \text{ Mpa} \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

Análisis de diseño a compresión perpendicular a la fibra marco principal

Como se observa *Ilustración 27: Resultados de cortante marco principal* el montante vertical derecho está expuesto al mayor valor de cortante perpendicular, este cortante es de 43.13 N. Según las especificaciones de [15] la compresión obtenida para el diseño (0.024Mpa) cumple con lo especificado.

Ecuación 77: Evaluación de diseño a compresión perpendicular a las fibras marco principal

$$F_c = \frac{47.13}{1810} \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

$$0.026 \text{ Mpa} \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

Análisis de Aplastamiento marco principal

El aplastamiento se evaluará en la unión que este expuesta a el mayor valor de cortante que como se observa en la *Ilustración 27: Resultados de cortante marco principal* es la unión inferior derecha con un valor de cortante de 104.79 N.

Ecuación 78: Evaluación de aplastamiento marco principal

$$F_p = 1.875 * \frac{104.79}{200} \leq 1.0 \text{ Mpa}$$

$$0.98 \text{ Mpa} \leq 1.0 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

Sabiendo que la longitud de las escuadras utilizadas en la unión de los extremos del marco es de 200mm como se muestra en la *Imagen 17 Esquema Escuadras madera Inmunizada 200x200*, con esto se observa que las uniones cumplen con lo mínimo requerido por [15].

10.1.1.2. Momentos marco principal

Según se observa en la *Ilustración 28: Resultados de momento marco principal* el mayor valor de momentos es de 29.67 N*m, el cual se localiza en la fibra inferior derecha de este y es generado por la carga ejercida por el vidrio que se encuentra en esta zona y el peso propio del marco.

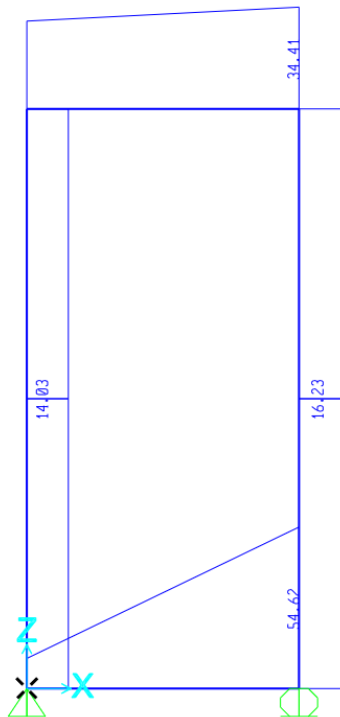
Como se muestra en la *Ilustración 29: Resultados de deflexiones marco principal* la deflexión máxima se encuentra en la fibra superior del marco principal, esta deflexión es de 0.5 mm y según la *Ecuación 25 Deflexión Máxima Marco* esta no puede sobrepasar los 8 mm por lo que está en los parámetros establecidos por [15].

10.1.2. ANALISIS HOJA BASCULANTE

10.1.2.1. Cortante hoja basculante

Según se observa en la *Ilustración 30: Resultados de cortante hoja basculante* el mayor valor de cortante es de 54.62 N, el cual se localiza en la fibra inferior derecha de este y es generado por la carga ejercida por el vidrio que se encuentra en esta zona y el peso propio del marco.

Ilustración 30: Resultados de cortante hoja basculante



Fuente: Propia

Análisis de diseño a cortante paralelo a la fibra hoja basculante

Teniendo lo anterior se hace la evaluación del cortante paralelo a las fibras de la dando como resultado que la hoja basculante objeto de este documento cumple con las especificaciones dadas por [15], este cálculo se hace de la siguiente manera:

Ecuación 80: Evaluación de cortante paralelo a la fibra hoja basculante

$$F_v = \frac{2 * 54.62}{3921} * 3.91 \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

$$0.11 \text{ Mpa} \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

Análisis de diseño a compresión perpendicular a la fibra hoja basculante

Como se observa *Ilustración 30: Resultados de cortante hoja basculante* el montante vertical derecho está expuesto al mayor valor de cortante perpendicular, este cortante es de 16.23 N. Según las especificaciones de [15] la compresión obtenida para el diseño (0.012Mpa) cumple con lo especificado.

Ecuación 81: Evaluación de compresión perpendicular a la fibra hoja basculante

$$F_c = \frac{16.23}{1307} \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

$$0.012 \text{ Mpa} \leq 15.7 \text{ Mpa}$$

Fuente: Propia

Análisis de Aplastamiento marco principal

Al igual que en el marco principal el aplastamiento se evaluará en la unión que este expuesta a el mayor valor de cortante que como se observa en la *Ilustración 30: Resultados de cortante hoja basculante* es la unión inferior derecha con un valor de cortante de 54.62 N.

Ecuación 82: Evaluación de aplastamiento hoja basculante

$$F_p = 1.4 * \frac{54.62}{200} \leq 1.0 \text{ Mpa}$$

$$0.38 \text{ Mpa} \leq 1.0 \text{ Mpa}$$

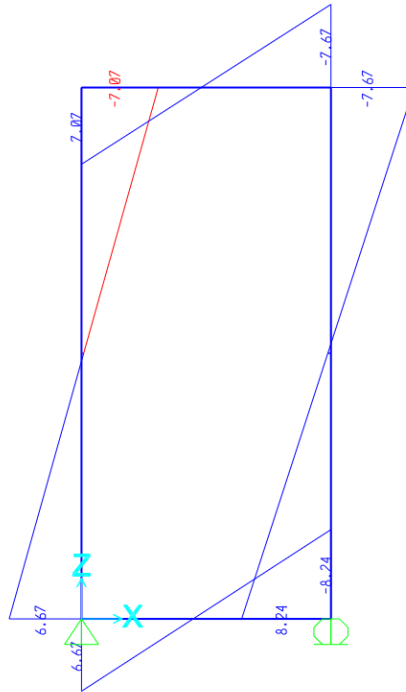
Fuente: Propia

Sabiendo que la longitud de las escuadras utilizadas en la unión de los extremos de la hoja basculante es de 200mm igual que en las uniones del marco principal, con esto se observa que las uniones cumplen con lo mínimo requerido por [15].

10.1.2.2. Momentos hoja basculante

Según se observa en la *Ilustración 31: Resultados de momento hoja basculante* el mayor valor de momentos es de 8.24 N*m, el cual se localiza en la fibra inferior derecha de este y es generado por la carga ejercida por el vidrio que se encuentra en esta zona y el peso propio del marco.

Ilustración 31: Resultados de momento hoja basculante



Fuente: Propia

Análisis de Flexión hoja basculante

Como se dijo anteriormente teniendo el momento máximo para la hoja basculante es 8.24 N*m, teniendo en cuenta esto se tiene que la flexión obtenida para el marco principal es de 1 MPa el cual cumple con los parámetros establecidos en [15].

Ecuación 83: Evaluación de flexión hoja basculante

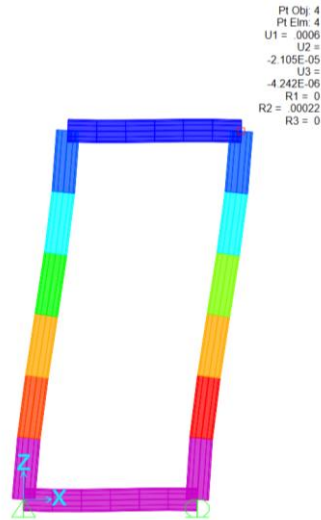
$$F_b = \frac{8240}{15072} \leq 16.8 \text{Mpa}$$

$$0.55 \text{Mpa} \leq 16.7 \text{Mpa}$$

Fuente: Propia

10.1.2.3. Deflexión marco principal

Ilustración 32: Resultados de deflexiones hoja basculante



Fuente: Propia

Como se muestra en la *Ilustración 32: Resultados de deflexiones hoja basculante* la deflexión máxima se encuentra en la fibra superior del marco principal, esta deflexión es de 0.6 mm y según la *Ecuación 24 Deflexión máxima Basculante* esta no puede sobrepasar los 2.16 mm por lo que está en los parámetros establecidos por [15].

10.2. VIDRIO

El vidrio se analiza con el fin de verificar su cumplimiento ya que fue instalado en el prototipo de marco construido aunque este actúe de manera independiente. Los valores de carga de corta duración en los vidrios siempre son menores a la carga sobre el vidrio

- Vidrio Principal Fijo de 1.24x 1.04

$$25.29 \frac{N}{m^2} \times (1.24 \times 1.04) = 32.613 N \approx 0.0326 kN$$

$$0.0326 kN \leq 2.90 kN$$

- Vidrio Basculante

$$25.29 \frac{N}{m^2} \times (1.24 \times 1.04) = 32.613 N \approx 0.0326 kN$$

$$0.0326 kN \leq 1.656 kN$$

10.3. PRESUPUESTO

Como se puede observar en la *Tabla 38: Presupuesto Ventana de Guadua* y *Tabla 39: Presupuesto Ventana de Aluminio* la ventana de guadua objeto de este documento si tiene un valor menor al de una ventana de aluminio por lo que en grandes cantidades si genera un ahorro económico significativo ya que por m² de ventana la diferencia de precio es \$40.000 siendo más económica el m² de ventana con marco en guadua.

11. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN

Para las estrategias de divulgación y comunicación para este proyecto serán en la comunidad académica, social y empresarial. Para esto el trabajo escrito y la cartilla constructiva será publicado en el repositorio Institucional de la Universidad Católica, RIUCaC (<http://repository.ucatolica.edu.co:8080/jspui/>) para que cualquier persona tenga acceso a la información obtenida en este proyecto; adicional se hará la donación del prototipo a la universidad con un poster explicativo del proceso de construcción de este y las ventajas que ofrece.

CONCLUSIONES

- Los parámetros funcionales y operacionales de la guadua seleccionada son óptimos para el presente proyecto ya que cumplen a cabalidad con lo establecido en [15], en lo que se trata cosecha y post cosecha además de tener la inmunización necesaria para alargar su vida útil.
- Con los resultados obtenidos en el software SAP2000, del diseño se evaluó los elementos del marco de la ventana (marco principal y hoja basculante), dando como resultado que las deformaciones del prototipo son muy pequeñas para la sección de guadua utilizada; teniendo en cuenta que se utilizó los dos diámetros menores ofrecidos comercialmente.
- Evaluando los parámetros establecidos por [15] se evidencio que el cortante paralelo a la fibra, la compresión perpendicular a la fibra, flexión y deflexión son menores a el 10% de los esfuerzos totales admisibles definidos para este material.
- El vidrio monolítico 4 mm el cual se instaló en el prototipo de marco cumple con los criterios de resistencia establecidos por [15]
- El estado crítico de diseño es el aplastamiento ya que se encuentra al límite del esfuerzo admisible, teniendo en cuenta que este se encuentra entre los parámetros establecidos por [15].
- Con la evaluación teórica de las cargas térmicas se evidencio que las cargas por transferencia son negativas debido a que la temperatura confort según la [28] es mayor a la temperatura exterior promedio de la ciudad de Bogotá, esto quiere decir que las cargas por transferencia se darían de adentro hacia afuera.
- Se pudo evidenciar que la ventana al ser un elemento arquitectónico, las uniones deben ser lo más estéticas posibles, por ello no se pudo utilizar ningún tipo de perno metálico que pudiera saltar a la vista generando imperfectos en el prototipo.
- Teniendo en cuenta que se pidió una cotización de marco de ventana en aluminio para vivienda VIS por metro cuadrado, se obtuvo que con los materiales utilizados para la fabricación del prototipo objeto de este documento el ahorro económico frente a este elemento es significativo, se puede concluir que para proyectos de gran alcance la ventana con marcos en guadua representaría un ahorro aproximadamente del 20% en estos elementos.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar el estudio detallado de las uniones mediante tacos de madera inmunizado utilizadas para el prototipo, esto con el objetivo de ver el cumplimiento de los parámetros establecidos por [15], mediante laboratorios comprobatorios de las propiedades físico mecánicas de estas.
- Es necesario realizar laboratorios que determinen las propiedades térmicas y puedan corroborar los valores teóricos obtenidos en el prototipo de marco construido.
- La guadua a pesar de que tiene unas excelentes propiedades a lo largo de su vida útil es necesario hacer reparaciones y ajustes ya sea por las posibles dilataciones que esta sufre por la humedad, agentes biológicos o desajuste en su parte estructural; es por esto que es recomendable hacer un chequeo periódico para garantizar el óptimo comportamiento del material a lo largo del tiempo.
- Para un país como Colombia es favorecedor el seguir investigando las diferentes facetas en las que se puede utilizar un material tan poco explotado en el país y con tan buenas propiedades para poder así no solo aportar a su economía, sino que también poder seguir ampliando el desarrollo de modelos sostenibles en la construcción no solo estructuralmente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. E. Singueda Sojos y D. E. Tola Martínez, «Influencia de la ventana en el confort térmico, lumínico y calidad de aire de las viviendas unifamiliares de la ciudad de Cuenca».
- [2] M. C. Serje Matínez, «El comportamiento Térmico de las viviendas de interés social en la zona de Barranquilla».
- [3] T. Schonhobel y S. Escalante, «Aperturas de fachadas y confort en la vivienda social del trópico,» Universidad ICESI.
- [4] Portafolio, «Costos al hacer vivienda son cada vez mas altos,» 15 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/costos-vivienda-son-vez-altos-155262>. [Último acceso: 2021].
- [5] Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, «Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana,» p. 35.
- [6] Departamento Nacional de Planeación, «Construcción de vivienda de interés social rural».
- [7] L. H. Casas Figueroa, «Humedades,» p. 48.
- [8] N. Hernandez G, «Características térmicas de la guadua,» 2 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://nathaliahernandezgarq.wordpress.com/2014/09/02/caracteristicas-termicas-de-la-guadua/#:~:text=Su%20valor%20se%20mide%20en,Kg%2Fm%C2%B3%20en%20el%20cobre..> [Último acceso: 2021].
- [9] A. Pantaleoa, D. Ferrib y A. Pelleranoa, «Wooden window frames with structural sealant: manufacturing improvements and experimental validation of a finite element model,» Universidad de Bari, Italia, 2013.
- [10] Science Direct, «Thermal optimization of window frames,» p. 1.
- [11] M. Calkins, J. Wiley y Sons. Inc, «Materials for sustainable sites,» p. 13.

- [12] world Bank Group, «Aluminium manufacturing».
- [13] J. P. Segarra Iñiguez, Impacto ambiental y viabilidad de la producción de las carpinterías de ventana en Mexico, Universidad Pontifica de Cataluña.
- [14] G. Duque Escobar y R. D. Moreno Orjuela, «Posicionamiento de la gobernanza forestal en Colombia,» CARDER.
- [15] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Titulo G - Estructuras de madera y estructuras de guadua,» de *Reclamo colombiano de construcción sismo resistente*.
- [16] Ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia, «Manual de especificaciones técnicas de construcción,» p. 37.
- [17] R. C. Gomez Castro, «Tecnologías del Bambu,» p. 72.
- [18] E. Robles, «Capitulo V método de análisis por elementos finitos y descripción del software ALGOR,» 3 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://silo.tips/download/capitulo-v-metodo-de-analisis-por-elementos-finitos-y-descripcion-del-software-a>. [Último acceso: 2021].
- [19] O. Cortez y M. Sotomayor , «Aplicación del método de elementos finitos y programas computacionales en el diseño estructural de un galpón para el taller de la empresa PROCOPET S.A.,» p. 87.
- [20] Zuarq diseño y arquitectura en guadua, «Puertas y ventanas en guadua,» 7 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.zuarq.co/puertas-ventanas-gadua/>. [Último acceso: 2021].
- [21] «Eficiencia energética en instalaciones y equipamientos de edificios,» p. 95.
- [22] Blog aislamientos Diansa, «Consejos para obtener un buen aislamiento térmico,» 23 Agosto 2018. [En línea]. Available: <http://diansa.com/blog/2018/08/23/buen-aislamiento-termico/>. [Último acceso: 2021].

- [23] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Titulo K - Requisitos complementarios,» de *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*.
- [24] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Titulo A - Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente,» de *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*.
- [25] Alcaldia de Bogotá, Decreto 253 de 2010 - Microzonificación sísmica de Bogotá D.C., 2010.
- [26] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Titulo B - Cargas,» de *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*.
- [27] ASTM INTERNATIONAL, Standard practice for determining loads resistance of glass in buildings, 2009.
- [28] American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, Inc., 2005 ASHRAE - Fundamentals, 2005.
- [29] IDEAM - Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, «Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos,» [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=La%20temperatura%20promedio%20es%20de%2027.3%20%C2%BAC.,per%C3%ADodo%20de%20diciembre>.
- [30] H. J. Ramirez Leon, Determinación de las cargas térmicas para garantizar el confort en los locales del piso 1 del edificio de aulas 2 en la UTB, Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2007.